This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

B 1,647,764

THE UNIVERSITY OF
University of Michigan Libraries
v.817
STELLFELD PURCHASE 1954

27 - C - 25

ÉLÉMENTS
D'ACOUSTIQUE
MUSICALE & INSTRUMENTALE

COMPRENANT

L'EXAMEN DE LA CONSTRUCTION THÉORIQUE DE TOUS LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE EN USAGE DANS L'ORCHESTRATION MODERNE

PAR

V. C. MAHILLON

FABRICANT D'INSTRUMENTS DE MUSIQUE

> L'acoustique est proprement la partie théorique de la musique : c'est elle qui donne ou doit donner les raisons du plaisir que nous font l'harmonie et le chant.
>
> J.-J. Rousseau.

BRUXELLES,

MANUFACTURE GÉNÉRALE D'INSTRUMENTS DE MUSIQUE

C. MAHILLON.

1874

DÉPOSÉ. — TOUS DROITS D'AUTEUR RÉSERVÉS.

ÉLÉMENTS

D'ACOUSTIQUE

MUSICALE & INSTRUMENTALE.

BRUXELLES. — IMPRIMERIE ADOLPHE MERTENS,
RUE DE L'ESCALIER, 22.

ÉLÉMENTS

D'ACOUSTIQUE

MUSICALE & INSTRUMENTALE

COMPRENANT

L'EXAMEN DE LA CONSTRUCTION THÉORIQUE DE TOUS LES INSTRUMENTS DE MUSIQUE EN USAGE DANS L'ORCHESTRATION MODERNE

PAR

Vte C. MAHILLON

FABRICANT D'INSTRUMENTS DE MUSIQUE

> L'acoustique est proprement la partie théorique de la musique : c'est elle qui donne ou doit donner les raisons du plaisir que nous font l'harmonie et le chant.
>
> J.-J. Rousseau

BRUXELLES,

MANUFACTURE GÉNÉRALE D'INSTRUMENTS DE MUSIQUE

C. MAHILLON.

1874

DÉPOSÉ. — TOUS DROITS D'AUTEUR RÉSERVÉS.

Music
ML
3805
.M22

STELLFELD

A MON PÈRE

Témoignage de Reconnaissance et d'Affection.

Y. C. MAHILLON.

PRÉFACE.

L'étude de l'acoustique est le complément indispensable d'une bonne éducation musicale. La connexion de cette partie de la physique et de la musique est évidente, nécessaire; il est impossible de bien professer celle-ci, sans connaître celle-là. En effet, quoique les phénomènes physiques semblent cesser dès que le son atteint le nerf auditif, ils n'en sont pas moins la source réelle de la sonorité variée des instruments et des voix, ils n'en sont pas moins le principe matériel des effets produits par le chanteur et l'instrumentiste.

L'acoustique constitue donc l'une des connaissances indispensables au musicien, et cependant elle est, de sa part, l'objet d'une indifférence regrettable et profonde, mais non avouée. Souvent obligé, dans la pratique de son art, de recourir à cette science utile, le musicien, affectant de la posséder, en parle sans en connaître les règles.

La définition du son, la manière de se produire, de se propager; la définition d'un instrument de musique, les combinaisons qui en règlent la construction, etc, etc., sont autant de questions que le musicien résoudra; mais comment?

— Par des théories toutes superficielles, en se basant sur des expériences mal approfondies, sur une fausse interprétation des lois de la physique, parfois même en se basant sur l'absurde préjugé, ce vade-mecum de l'ignorance.

Que d'artistes ne se sont-ils pas obstinés à me faire remédier aux défauts de leurs instruments par des moyens absolument opposés aux seuls qui dussent être employés!

Mais d'où provient ce dédain pour une connaissance si utile?

Il provient d'abord, selon moi, de ce que l'étude de l'acoustique présentée comme *science*, cause certaines appréhensions mal fondées; en second lieu, de ce que les livres qui l'enseignent exigent, pour être compris, des notions spéciales que le musicien, généralement absorbé par l'étude artistique, ne peut acquérir.

Convaincu de la vérité de cette opinion par mes rapports constants avec les artistes, j'ai résumé en quelques chapitres les éléments d'acoustique qui leur sont nécessaires.

Mon but n'est pas de faire un traité, il en a été suffisamment publié sur cette matière, ni, élevant mes prétentions au-dessus de mes capacités, de produire une œuvre littéraire.

Mon but est de procurer aux artistes un moyen facile de s'initier aux règles de l'acoustique par la lecture d'un livre dont la simplicité et la clarté sont les seuls mérites.

Je serai récompensé de mes patientes et laborieuses recherches si ce modeste ouvrage peut contribuer à répandre, parmi les musiciens, le goût d'une science qu'ils ont tant intérêt à connaître.

V. C. M.

ÉLÉMENTS
D'ACOUSTIQUE MUSICALE
ET INSTRUMENTALE.

CHAPITRE PREMIER.

FORMATION, PROPAGATION ET CARACTERES DU SON, CALCUL DU NOMBRE DE VIBRATIONS, BATTEMENTS ET SONS RÉSULTANTS, TIMBRE.

L'acoustique est une science qui a pour objet l'étude du son et des lois suivant lesquelles il se transmet.

Le son est une sensation produite sur les organes auditifs par la vibration des corps dans un milieu élastique, qu'il soit solide, liquide ou gazeux. Il en résulte que le son ne se propage pas dans le vide. En effet, si un timbre, vibrant sous l'action d'un marteau mu par un mouvement d'horlogerie, est introduit sous la cloche d'une pompe pneumatique, le son s'éteint au fur et à mesure que l'air diminue, pour disparaître tout à fait lorsque le vide est complet. Dans cet état, on voit le marteau continuer à frapper le timbre, mais on n'entend aucun son. Celui-ci renaît peu à peu, si l'on ouvre progressivement le robinet qui permet à l'air de s'introduire sous la cloche de verre.

Cette expérience prouve que l'air, ou tout autre milieu

élastique, est le véhicule qui transmet à notre oreille les vibrations du corps sonore et nous les fait apprécier comme son ou comme bruit.

Il est assez difficile de déterminer la différence entre le son et le bruit, parce que l'un et l'autre sont le résultat de vibrations qui frappent notre oreille. Cependant, on détermine généralement leur différence, en ce sens que le son est le résultat de vibrations qui ont une certaine durée et dont on peut évaluer la valeur musicale, tandis que le bruit n'est que le produit de vibrations dont la durée est trop courte pour qu'on puisse les apprécier, ou de sons dont le mélange discordant affecte désagréablement notre oreille.

Le son, avons-nous dit, résulte de la vibration des corps. En effet, tout corps, solide, liquide ou gazeux, dérangé de sa position d'équilibre par une force quelconque, y revient après avoir accompli un nombre d'oscillations, plus ou moins grand, selon sa nature.

Une corde de violon, tendue entre deux points fixes et dérangée de sa position d'équilibre ou de repos, retourne à sa position première, la dépasse, y retourne, la dépasse encore, et exécute ainsi un mouvement de va et vient jusqu'à ce que finalement elle revienne à son état normal.

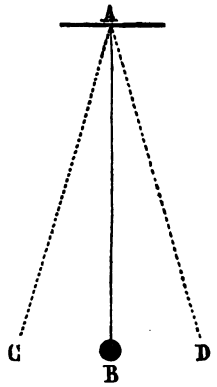
Ce sont ces mouvements de la corde qui engendrent le son; ce sont ces oscillations qui prennent le nom de *vibrations*, et ce mouvement de va et vient, que la corde rend visible à notre œil, existe d'une façon semblable dans tous les corps qui vibrent.

Les vibrations sont simples ou doubles; elles sont simples si elles ne désignent qu'un aller ou un retour du corps vibrant, elles sont doubles si elles désignent un aller et un retour.

On ne pourrait mieux se rendre compte des vibrations d'un corps que par l'exemple suivant. Suspendons un petit poids à un fil quelconque et nous avons l'instrument appelé *pendule*. On sait qu'un instrument pareil, de $0^m,9938$ de longueur, bat exactement la seconde à Bruxelles.

Dérangeons-le de sa position d'équilibre B et amenons-le

vers C ; si nous le lâchons alors, le poids redescendra vers sa position primitive B, la dépassera, arrivera à D, pour retomber vers C en dépassant B, et ainsi de suite jusqu'à ce



qu'il revienne complétement au repos primitif, après un certain nombre d'oscillations qui diminueront successivement d'amplitude, mais qui seront isochrones, c'est-à-dire que chaque oscillation aura exactement la même durée, quelle que soit la longueur de sa course.

Les vibrations des corps sonores sont exactement semblables. Plus l'amplitude de l'oscillation est grande, plus le son est fort. Quelle que soit l'étendue de cette oscillation, elle diminuera progressivement ; le temps pour aller de C vers D sera exactement égal à celui qu'il faudra pour retourner de D vers C. Le parcours de D vers C ou de C vers D est une vibration simple. Le parcours de D vers C avec retour vers D est une vibration double ou complète.

Disons en passant que ce sont les mouvements oscillatoires du pendule qui ont donné l'idée première du métronome.

Le métronome est un instrument à l'aide duquel on détermine exactement la valeur du temps musical. Il se compose d'un balancier gradué mu par un mouvement d'horlogerie.

Sur ce balancier glisse un poids mobile qui engendre des mouvements très-lents, s'il est placé à l'extrémité, très-accélérés lorsqu'au contraire il est rapproché de l'axe. Les chiffres auxquels se rapportent les degrés, indiquent le nombre d'oscillations en une minute ; le mouvement le plus lent est de 40 coups à la minute, le plus précipité est de 208 dans le même temps.

Les musiciens se servent des expressions suivantes pour désigner le mouvement de plus en plus rapide :

Largo, lento,	Amoroso.	Con Brio,
Larghetto,	Moderato,	Scherzo,
Adagio,	Graziozo,	Vivace,
Maestoso,	Tempo giusto,	Presto,
Andantino,	Allegretto,	Prestissimo.
Andante,	Allegro,	

Ces expressions n'offrent rien de précis et il serait à désirer que les compositeurs indiquassent exactement le mouvement à donner par l'indication métronomique se rapportant à une valeur quelconque : *ronde*, *blanche*, *noire* ou *croche*.

Le métronome est l'application des lois du pendule, avons-nous dit, aussi est-il très-facile de le remplacer par ce dernier : un fil de soie d'un mètre de longueur, terminé par un petit poids, constitue tout l'appareil nécessaire. Déjà, en 1812, Despreaux, professeur au Conservatoire de Paris, avait imaginé un instrument à peu près semblable qu'il appelait *chronomètre*, mais qui fut abandonné à cause de l'action silencieuse de sa marche; certes, cet appareil ne conviendrait pas pour remplacer le métronome dans tous les cas, mais il suffit au compositeur pour l'indication des mouvements de son œuvre.

M. Meerens, dans une brochure récemment publiée, consacre un éloquent chapitre à la nécessité de l'emploi des indications métronomiques et publie sous le nom de métromètre le tableau suivant, destiné à permettre aux musiciens de remplacer le métronome quelquefois absent par le pendule (*).

(*) *Le Diapason et la Notation musicale simplifiée*, Bruxelles, Schott frères. 1873.

NOMBRE D'OSCILLATIONS en une minute.	LONGUEUR du PENDULE.	NOMBRE D'OSCILLATIONS en une minute.	LONGUEUR du PENDULE.
40	2m25	96	0m39
42	2.04	100	0.36
44	1.86	104	0.33
46	1.70	108	0.31
48	1.56	112	0.29
50	1.44	116	0.27
52	1.33	120	0.25
54	1.23	126	0.23
56	1.15	132	0.21
58	1.07	138	0.19
60	1.00	144	0.17
63	0.91	152	0.15
66	0.83	160	0.14
69	0.75	168	0.13
72	0.69	176	0.12
76	0.62	184	0.11
80	0.56	192	0.10
84	0.51	200	0.09
88	0.47	208	0.08
92	0.43		

Ce tableau est calculé d'après la loi suivante :

Le nombre des oscillations est inversement proportionnel au carré des longueurs du pendule. C'est-à-dire que si le nombre de vibrations décroît dans la progression 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, la longueur du pendule croîtra dans l'ordre progressif 1, 4, 9, 16.

Le pendule d'un mètre (le poids compris) bat la seconde avec une exactitude suffisante pour l'objet qui nous occupe.

Pour obtenir la longueur d'un pendule battant la minute, et donnant conséquemment 60 fois moins de vibrations, il faudra multiplier 1 mètre par 60 élevé au carré, soit par $60 \times 60 = 3600$ mètres. Cette valeur, trop grande pour être employée, va nous permettre de calculer facilement la longueur à donner au pendule pour chaque nombre d'oscillations que nous voulons obtenir en une minute. Le nombre de vibrations étant inversement proportionnel au carré de la longueur, nous n'avons qu'à diviser celle du pendule battant la minute par le nombre d'oscillations, élevé au carré, c'est-à-dire multiplié par lui-même.

Ainsi quelle longueur de pendule nous faut-il pour donner 70 oscillations en une seconde? Divisons 3600 par $70 \times 70 = \frac{3600}{4900}$ et nous aurons pour réponse $0^m,734$.

Le son se propage, dans tous les milieux élastiques, avec une vitesse plus ou moins grande. Un plongeur entend parfaitement tous les sons qui se produisent dans l'eau, aussi bien que ceux qui viennent du rivage.

Les solides transmettent les sons avec une très-grande facilité. Que l'on gratte, avec la pointe d'un canif, l'extrémité d'une poutre ou d'une pièce de bois d'une très-grande longueur, ce bruit presque imperceptible sera nettement entendu par l'observateur appuyant l'oreille à l'autre extrémité.

L'air est le principal véhicule du son. C'est la propagation du son dans le milieu que nous respirons qui doit seulement nous occuper dans l'étude que nous entreprenons.

On ne pourrait se créer une meilleure image de la propagation du son qu'en observant les couches concentriques qui se forment à la surface d'une eau tranquille, lorsqu'on y jette une pierre : les bourrelets concentriques qui forment des cercles s'élargissant de plus en plus, représentent exactement les ondes sonores se propageant dans toutes les directions autour d'un point d'ébranlement. Ces bourrelets diminuent progressi-

vement d'amplitude et conséquemment d'intensité. Qu'un corps flottant quelconque et léger se trouve à la surface de l'eau, nous le verrons suivre le mouvement passager de l'onde sans cependant dévier sensiblement de sa position. La molécule d'air vibrante accomplit le même rôle : elle transmet à la molécule suivante l'impulsion qu'elle reçoit de celle qui précède, et retourne à sa position d'équilibre sans accomplir d'autre mouvement.

Le son n'arrive donc pas instantanément à notre oreille et la vitesse de sa marche dépend du milieu dans lequel il se produit. Plus ce milieu est élastique plus la vitesse est grande; plus ce milieu est dense, plus la vitesse est petite. Le son se propage avec d'autant plus de rapidité que l'élasticité est grande relativement à la densité. Ainsi le son a une vitesse quatre fois plus grande dans l'eau que dans l'air, dix-sept fois plus grande dans le fer, dix fois plus grande dans le bois de sapin, parce que les rapports entre l'élasticité et la densité sont plus grands dans l'eau, le fer et le bois de sapin, que ceux qui existent dans la composition de l'air. La vitesse du son dans l'air a été déterminée par des expériences très-minutieuses, dont les résultats ont été confirmés depuis par les calculs de la science moderne.

Lorsque l'air s'échauffe, il devient plus léger, tandis que l'élasticité, qui résulte de la pression, reste la même. Le rapport entre l'élasticité et la densité devenant plus grand, la vitesse augmente. Nous verrons plus tard que c'est à l'accroissement de vitesse occasionné par une augmentation de température, qu'est due l'élévation du diapason des instruments à vent après quelques instants d'usage.

Le tableau suivant, extrait des *Éléments de physique expérimentale et de météorologie*, par M. Pouillet, donne la vitesse du son dans l'air, depuis — 50° à + 50° (*) :

(*) Bruxelles, L. Hauman et Cie, 1836.

TEMPÉRATURE.	VITESSE en MÈTRES.	TEMPÉRATURE.	VITESSE en MÈTRES.
— 50	295.23	— 24	312.44
— 49	295.91	— 23	313.08
— 48	296.58	— 22	313.72
— 47	297.26	— 21	314.36
— 46	297.92	— 20	315.00
— 45	298.61	— 19	315.64
— 44	299.29	— 18	316.28
— 43	299.95	— 17	316.92
— 42	300.63	— 16	317.54
— 41	301.30	— 15	318.17
— 40	301.96	— 14	318.81
— 39	302.63	— 13	319.44
— 38	303.29	— 12	320.07
— 37	303.95	— 11	320.70
— 36	304.64	— 10	321.32
— 35	305.27	— 9	321.94
— 34	305.94	— 8	322.57
— 33	306.59	— 7	323.20
— 32	307.24	— 6	323.81
— 31	307.90	— 5	324.44
— 30	308.55	— 4	325.09
— 29	309.20	— 3	325.68
— 28	309.85	— 2	326.29
— 27	310.50	— 1	326.91
— 26	311.15	— 0	327.52
— 25	311.79		

TEMPÉRATURE.	VITESSE en MÈTRES.	TEMPÉRATURE.	VITESSE en MÈTRES.
+ 0	327.52	+ 26	343.12
+ 1	328.14	+ 27	343.70
+ 2	328.74	+ 28	344.29
+ 3	329.35	+ 29	344.87
+ 4	329.97	+ 30	345.45
+ 5	330.58	+ 31	346.03
+ 6	331.19	+ 32	346.62
+ 7	331.80	+ 33	347.19
+ 8	332.40	+ 34	347.78
+ 9	333.01	+ 35	348.35
+ 10	333.61	+ 36	348.93
+ 11	334.21	+ 37	349.50
+ 12	334.81	+ 38	350.08
+ 13	335.41	+ 39	350.65
+ 14	336.01	+ 40	351.23
+ 15	336.61	+ 41	351.80
+ 16	337.21	+ 42	352.30
+ 17	337.80	+ 43	352.92
+ 18	338.40	+ 44	353.51
+ 19	338.99	+ 45	354.08
+ 20	339.58	+ 46	354.64
+ 21	340.18	+ 47	355.21
+ 22	340.77	+ 48	355.78
+ 23	341.35	+ 49	356.35
+ 24	341.94	+ 50	356.91
+ 25	342.52		

La vitesse moyenne admise dans les calculs est de 340 mètres par seconde.

Connaissant la vitesse du son, il est extrêmement facile de calculer la distance entre la source sonore et le lieu où se trouve l'observateur, Ainsi, en supposant qu'un intervalle de deux secondes sépare l'apparition de la lumière produite par la décharge d'un coup de canon et la perception du son, nous pourrons en conclure que l'arme se trouve à une distance de 680 mètres de nous.

On distingue trois qualités du son : la *hauteur*, l'*intensité* et le *timbre*.

La hauteur du son est l'appréciation du rang qu'il occupe entre le son le plus grave et le son le plus aigu.

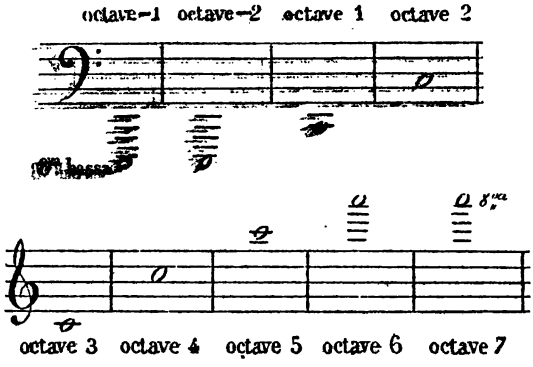
Le son le plus grave que puisse apprécier l'oreille est celui produit par 16 vibrations doubles en une seconde, et ce son perd déjà son caractère musical, parce qu'il est difficile de réunir en un seul son des vibrations si lentes à se produire.

La limite des sons à l'aigu varie, comme celle des sons graves, d'une personne à l'autre. Ainsi, des expériences ont prouvé qu'un son de 30,000 vibrations simples était parfaitement perceptible par quelques personnes et ne pouvait s'entendre par d'autres. Pour certaines organisations délicates, ces limites se reculent jusqu'à 73,000 vibrations simples.

Pour reconnaître l'octave à laquelle appartient un son quelconque, les acousticiens se servent de chiffres qu'ils appellent *indices* et qui accompagnent la note pour désigner l'octave à laquelle elle appartient. Malheureusement pour la science, les indices dont se servent les acousticiens anglais et allemands ne sont pas les mêmes que ceux employés par les français. Comme nous suivons généralement en Belgique les auteurs français, nous adopterons les indices d'octaves dont se servent ces derniers, et nous entendrons toujours parler de *vibrations simples*, sauf stipulation contraire.

Les sons généralement admis en musique sont compris dans une étendue de 7 octaves, de 70 à 8,800 vibrations simples environ.

Voici comment, au moyen des indices, on désigne l'octave à laquelle appartient un son :



Les sons de l'octave — 2 et de l'octave 7 sont rarement employés.

Les octaves sont quelquefois encore désignées de la manière suivante :

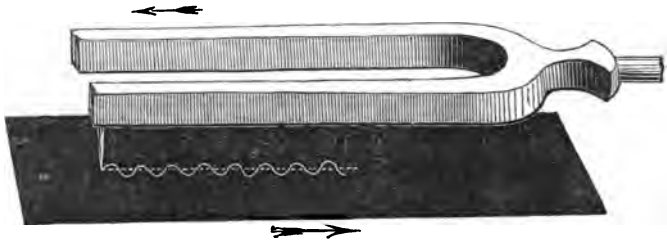
Octaves de 32 pieds, — de 16 pieds, — de 8 pieds, — de 4 pieds, — de 2 pieds, — de 1 pied, — de 6 pouces, — de 3 pouces, — de 1 1/2 pouce.

Ces dénominations proviennent des facteurs d'orgue, qui désignent les octaves par la longueur des tuyaux qui les produisent.

Pour évaluer la hauteur d'un son, il s'agit de déterminer le nombre de ses vibrations en une seconde.

Si, à l'une des branches d'un diapason, nous adaptons une petite pointe, et si, après l'avoir mis en vibration, nous l'approchons d'une plaque de verre préalablement noircie sur la flamme d'une bougie, la pointe du diapason tracera sur la plaque de verre une série de petites lignes qui se confondront; mais, reculons la plaque, le diapason y décrira alors une ligne sinueuse, qui sera l'image exacte de ses vibrations et dont l'amplitude décroîtra progressivement jusqu'au moment où elles ne formeront plus qu'une ligne droite.

La figure suivante fera mieux comprendre notre idée.



M. Duhamel, mettant à profit cette méthode, a imaginé un appareil très-ingénieux à l'aide duquel le diapason enregistre lui-même le nombre de ses vibrations en un temps donné.

Au Conservatoire des Arts et Métiers de Paris, où l'on poinçonne les diapasons, on examine l'exactitude du nombre des vibrations au moyen d'un comparateur optique portant le nom de l'inventeur, M. Lissajous. Cet appareil se compose d'un diapason dont une branche est armée d'un objectif de microscope ; ce diapason est exactement réglé à 870 vibrations doubles. Si ce diapason est mis en vibration et qu'au moyen de l'objectif on examine un des points du diapason à poinçonner que l'on fait vibrer dans une direction perpendiculaire à celle des vibrations du comparateur, il en résulte soit des figures distinctes, soit des figures confuses. Dans le premier cas seulement, il y a unisson ou rapport. Cette méthode permet de juger, sans le secours de l'oreille, de l'exactitude entre deux diapasons.

Mais il ne s'agit pas toujours de déterminer la hauteur de son d'un diapason, il faut pouvoir calculer aussi le nombre de vibrations d'un son musical quelconque. Nous possédons plusieurs moyens pour obtenir ce résultat.

L'appareil le plus certain et le plus facile est le tonomètre de Scheibler.

Le tonomètre se compose d'une série de 56 diapasons du

la_2 au la_5 et accordés de façon à offrir entre chacun d'eux une différence de 8 vibrations simples. Si l'on fait vibrer ensemble deux de ces diapasons choisis dans l'ordre de leur succession, on entend distinctement quatre battements par seconde. Si donc on veut évaluer exactement le nombre de vibrations simples d'un son quelconque, on choisit le diapason qui s'en approche le plus, on compte les battements qui se produisent par seconde, et comme chaque battement est le résultat de la différence de deux vibrations simples, il est facile de déterminer exactement le nombre de vibrations du son expérimenté.

Il devient nécessaire ici d'expliquer le phénomène du battement.

Le battement est un renforcement produit à des intervalles égaux par deux sons légèrement désaccordés.

Supposons deux diapasons, l'un accordé à 400 vibrations doubles, l'autre à 401. Si nous les faisons vibrer ensemble, il est évident qu'il faudra 400 vibrations d'un côté et 401 de l'autre pour que les deux sons coïncident; c'est cette coïncidence qui donne lieu au renforcement par la superposition des ondes sonores semblables. Dans le cas que nous examinons, nous aurons un battement par seconde. Augmentons le désaccord de ces diapasons en portant de 401 à 404 le nombre de vibrations du second : il est évident que lorsque le premier diapason aura donné 400 vibrations, ou le second 404, il y aura eu 4 coïncidences, d'où 4 renforcements, et conséquemment 4 battements, d'où nous pouvons conclure *que le nombre de battements est égal à la différence des vibrations doubles des sons mis en présence.*

Pour nous mieux faire comprendre, examinons ce qui se passe lorsque nous mettons les deux diapasons en vibration en même temps. L'un faisant 400 vibrations pendant le même temps que l'autre en fait 404, c'est-à-dire pendant une seconde; il est évident que lorsque le premier aura fait 100 vibrations, le second en aura fait 101 ; cette coïncidence amène le pre-

mier renforcement. Après 200 vibrations du premier, le second en aura fait exactement 202 ; de cette nouvelle coïncidence naît le deuxième renforcement et ainsi de suite.

A	100	200	300	400	B
	101	202	303	404	

Figurons-nous, par la ligne A B, l'espace de temps nécessaire aux deux diapasons pour exécuter, l'un 400 vibrations doubles, l'autre 404 ; chacune des quatre divisions de la ligne nous montre le point de coïncidence d'où résulte le renforcement de son appelé *battement*. Si, pour achever la démonstration, nous avions 400 vibrations d'un diapason pendant 405 vibrations d'un autre, la ligne A B deviendrait

A	80	160	240	320	400 B
	81	162	243	243	405

Nous avons ici cinq points où les vibrations, coïncidant exactement, nous donnent cinq battements.

Lorsque les battements qui proviennent de deux sons en présence sont assez rapides, il en résulte un troisième son parfaitement appréciable et qui, de même que les battements, est le résultat de la différence entre les vibrations des deux sons primitifs.

Nous verrons bientôt que de trois sons dont les rapports de vibration sont en progression 1, 2, 3, le deuxième son est à l'octave du premier, et le troisième à la quinte du second.

Ainsi, supposons un ut_3 de 250 vibrations, nous aurons pour : un ut_4 $250 \times 2 = 500$ vibrations et pour un sol_4 $250 \times 3 = 750$ vibrations.

Faisons vibrer fortement et ensemble ut_4 et sol_4, sur un harmonium de préférence, parce que les sons peuvent se maintenir ; nous entendrons, avec quelque attention et un peu d'ha-

bitude, l'*ut*$_3$ de 250 vibrations provenant de la différence des vibrations de l'*ut*$_4$ de 500 vibrations et du *sol*$_4$ de 750.

Ces sons résultants sont appelés *différentiels*, pour les distinguer des sons d'*addition*, découverts récemment par M. Helmholtz, professeur à l'Université d'Heidelberg.

Ces sons additionnels, ainsi que leur nom l'indique, sont produits par l'addition des vibrations des deux sons primitifs, de sorte que, pour le cas précédent, en faisant fortement résonner *ut*$_4$ avec *sol*$_4$, on entend non-seulement le son différentiel, mais le son d'addition *mi*$_5$ produit par 1,250 vibrations.

En effet, additionnant les vibrations des notes que nous faisons résonner ensemble, nous avons l'*ut*$_4$ de 500 v. + *sol*$_4$ de 750 v. = 1,250 v.

Les sons d'addition ne sont pas de grande importance, parce qu'ils sont difficiles à distinguer.

Pour parvenir à évaluer la hauteur d'un son en déterminant le nombre de ses vibrations, le sonomètre est l'instrument le plus pratique et le plus facile, mais il exige une très-bonne oreille et beaucoup d'habitude; nous le décrirons plus loin en traitant de la vibration des cordes.

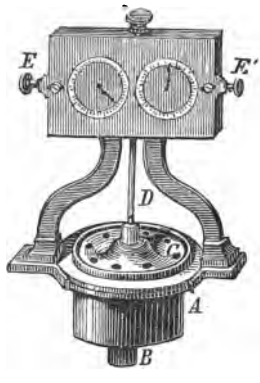
Lorsque les nombres de vibrations de deux sons ne se trouvent pas dans le rapport exact nécessaire à la détermination d'un intervalle, il y a son résultant et battement tout à la fois.

Ainsi deux sons donnent l'octave lorsque le plus aigu exécute un nombre de vibrations double de celui du son grave. Supposons l'intervalle d'octave formé d'un *ut* de 400 vibrations doubles, et un autre *ut* de 200 vibrations doubles, nous aurons pour son résultant 200 vibrations, différence entre les deux sons primitifs, c'est-à-dire un son à l'unisson de l'*ut* le plus grave avec lequel il se confondra. Si, au contraire, nous altérons le rapport en désaccordant l'intervalle, soit par le son aigu, soit par le son grave, nous aurons entre le son résultant et le son grave de l'intervalle un nombre de battements égal à la différence des vibrations doubles qui les séparent.

Si nous prenons l'intervalle de quinte altérée *sol* de 301 vibrations doubles par seconde, en rapport avec un *ut* de 200, nous aurons pour différence un *ut* de 101 vibrations doubles c'est le son résultant, lequel produira un battement par seconde, parce qu'il se trouve rapproché d'une vibration double de l'*ut* supérieur, dont il devrait se trouver éloigné dans le rapport exact de 1 : 2.

Ce phénomène est mis à profit, comme nous le verrons plus loin, pour l'accord des instruments à sons fixes.

Nous corroborons ce que nous avons dit ci-dessus de la première qualité du son, en parlant de la *sirène* inventée par Cagniard de la Tour, en 1819. En voici la figure :



La sirène se compose d'une caisse cylindrique en cuivre A, que l'on fait communiquer avec une soufflerie au moyen du tuyau B. L'air introduit par la soufflerie tend à s'échapper par un certain nombre de trous percés, à une égale distance l'un de l'autre, sur le couvercle C. Sur ce couvercle tourne, au moyen d'un pivot, un plateau percé d'un nombre égal de trous, lequel, par la rotation, ferme ou ouvre alternativement les trous du tambour. Ces trous, forés obliquement, font que le plateau reçoit son impulsion par le courant d'air même venant de la soufflerie. Le plateau et le couvercle étant percés d'un même

nombre de trous, 25 par exemple, il arrive que, en ouvrant le robinet de la soufflerie, l'air extérieur reçoit 25 impulsions séparées par 25 moments de repos, alors que les trous du couvercle sont bouchés par les séparations qui existent entre les trous du plateau. De là, 25 vibrations complètes pour chaque tour du plateau. Ce dernier tourne sur un axe vertical D auquel est attachée une vis sans fin qui engrène avec une roue dentée, laquelle avance d'une dent à chaque tour du plateau. Cette première roue dentée, après chaque tour complet, fait mouvoir une seconde roue, qui indique conséquemment le nombre de tours de la première. Chaque roue dentée est munie d'une aiguille qui enregistre le nombre de tours sur un cadran divisé en 100 parties.

Pour évaluer la hauteur d'un son quelconque, il s'agit d'en obtenir l'unisson par la sirène. Si nous ouvrons le robinet de la soufflerie, nous entendons d'abord un son très-grave, mais haussant progressivement par suite de la vitesse croissante du plateau, jusqu'au point de cesser d'être perceptible dès que les vibrations deviennent trop rapides. La difficulté consiste donc à maintenir le son de la sirène, pendant quelques secondes, à l'unisson du son dont le nombre de vibrations est à déterminer. On y arrive en réglant l'ouverture du robinet et en ménageant la pression de la soufflerie. Lorsque l'unisson est parfait, on pousse sur un bouton E, auquel est attaché un mécanisme qui a pour effet de permettre ou de suspendre l'engrenure de la vis sans fin de l'axe du plateau avec les roues dentées, selon qu'on le pousse du côté droit ou du côté gauche de l'appareil. En poussant du côté nécessaire à permettre l'engrenure, il est évident que l'on n'aura qu'à compter le nombre de mouvements exécutés par les roues dentées pendant le nombre de secondes qu'aura duré l'expérience. Dès que l'unisson vient à disparaître, on arrête, par le bouton opposé, le mouvement des roues.

Supposons, comme nous l'avons dit ci-dessus, que le plateau soit percé de 25 trous; que l'aiguille de la première roue indique le chiffre 5; que l'aiguille de la seconde marque 1.

Puisque le second cadran marque 1, il nous indique que le premier a fait tout un tour, et comme ce dernier est arrivé en outre au chiffre 5, il s'est donc fait 105 mouvements; or, puisque chacun de ces mouvements correspond à un tour complet du plateau, lequel engendre chaque fois 25 vibrations doubles ou complètes, nous avons donc $105 \times 25 = 2,625$ vibrations. Si l'opération a duré 10 secondes, nous avons $\frac{2625}{10} = 262,5$ en une seconde.

On appelle *onde sonore* la distance parcourue par le son pendant une vibration du corps qui le produit.

Les ondes sonores sont simples ou complètes, selon qu'elle sont produites par une vibration simple ou complète.

Nous avons dit que le son parcourt en moyennne 340 mètres par seconde. La longueur d'une onde simple produite par un son faisant 870 vibrations simples est donc de $\frac{403}{870} = 0^m,390$; car si le son ne faisait qu'une vibration, il aurait une longueur d'onde de 340 mètres; mais comme il en fait 870, l'espace parcouru pendant une vibration est 870 fois moindre.

Les molécules de deux ondes qui se touchent vibrent en sens contraire, c'est-à-dire qu'elles se rapprochent ou s'éloignent du point de séparation appelé *nœud*. Le centre de l'onde, là où les molécules ont le plus grand mouvement, se désigne sous le nom de *ventre de vibration;* la distance d'un nœud à un autre ou d'un ventre à un autre est toujours déterminé par la longueur d'une *onde simple*. Nous verrons plus loin les différentes positions des nœuds et des ventres, qui varient naturellement d'après la nature des corps sonores.

Les ondes sonores sont alternativement condensées et dilatées. Lorsque deux ondes condensées ou dilatées se produisent en même temps, il y a *renforcement* de son, ainsi que nous l'avons vu par le phénomène des battements. Si, au contraire, une onde condensée est produite en même temps qu'une onde dilatée, il y a *interférence*, c'est-à-dire que les mouvements vibratoires s'annulent.

Si l'on monte sur le socle d'une soufflerie deux tuyaux fer-

més, exactement d'accord, et qu'on veuille les faire parler ensemble, il n'y a presque pas de son, et pourtant il est facile de constater qu'ils vibrent. Si l'on ferme le passage à l'air qui fait vibrer l'un d'eux, aussitôt l'autre résonne fortement. Ce phénomène est dû à la raison suivante : Quand l'air rentre dans l'un des tuyaux pour y produire une compression, une raréfaction se produit dans l'autre tuyau ; l'air sollicité de deux côtés contraires à la fois, n'obéit à aucun et les tuyaux restent muets.

L'*intensité* du son dépend de l'amplitude de la vibration. Si l'on fait vibrer une corde de violon, le son diminue progressivement, et s'éteint dès que la corde rentre à l'état de repos. Ce caractère du son n'a aucune influence sur sa tonalité, car la hauteur du son est la même, que l'amplitude des vibrations soit grande ou qu'elle s'approche de la position d'équilibre.

Le son, avons-nous dit, se propage en sphères concentriques autour du point d'ébranlement. La surface de ces sphères augmente comme le carré du rayon, il est évident que l'intensité diminue dans le même rapport et *qu'elle est en raison inverse du carré de la distance entre le corps sonore et l'organe auditif*. Ainsi, l'observateur placé à deux mètres de distance d'un diapason, par exemple, entendra le son avec une intensité quatre fois moindre que celui qui met le diapason en vibration; à quatre mètres de distance, l'intensité sera seize fois moindre et ainsi de suite.

Afin d'empêcher la propagation du son en sphères concentriques, et dans le but d'en augmenter la portée, on se sert de tuyaux coniques appelés *porte-voix*. Dans ces tuyaux, les ondes sonores, par suite de réflexions successives contre les parois, sont naturellement lancées à une distance plus grande que celle qu'elles auraient si elles étaient émises dans les conditions ordinaires qui permet la propagation immédiate dans toutes les directions. Des expériences ont prouvé qu'on pouvait, au moyen d'un porte-voix convenable, envoyer un son à une distance de plus de cinq kilomètres.

Quand la propagation du son a lieu dans un espace où l'air

est limité, dans un tuyau par exemple, le son ne perd presque pas de son intensité, et conséquemment, il peut se transmettre à de grandes distances. Les tubes acoustiques dont on se sert dans les maisons pour correspondre d'un étage à un autre, ont leur construction basée sur ce principe.

L'intensité du son peut être augmentée par le voisinage d'un autre corps sonore.

Aucun musicien n'ignore que lorsque deux sons sont exactement à l'unisson, il suffit de faire vibrer l'un pour que l'autre entre immédiatement en vibration par l'influence du premier. Il arrive souvent que, jouant d'un instrument de musique, l'on entend un verre, un carreau de vitre, un objet quelconque, vibrer sous l'influence d'une seule note et rester en repos pour toutes les autres. Ce phénomène, très-facile à constater, a une grande influence sur l'intensité du son. Ainsi un diapason accordé au la_3, placé sur une caisse de résonnance dont la capacité intérieure est accordée à la même hauteur, acquiert une sonorité beaucoup plus grande, parce que l'air que contient la caisse vibre à l'unisson du diapason.

Prenons un diapason accordé au si^b_3 ; approchons-le de la bouche dont nous réglons l'ouverture comme si nous avions à prononcer la voyelle *o*. Immédiatement le diapason vibrera avec une très-grande intensité.

Ouvrons la bouche pour prononcer la voyelle *a*, le diapason ne résonnera plus que faiblement; mais, si nous le remplaçons par un autre diapason accordé à l'octave, conséquemment au si^b_4, l'ouverture de la bouche nécessaire à la voyelle *a* formera une capacité d'air qui vibrera à l'unisson du diapason, en renfonçant considérablement sa sonorité.

Chaque voyelle a ainsi une note qu'elle renforce de préférence à une autre, et cela se conçoit par les différentes positions que contracte la bouche pour établir la diversité des sons.

Quelques corps vibrent avec une si grande facilité qu'il n'est pas nécessaire, pour augmenter la sonorité, qu'ils soient à l'unisson du corps qui les sollicite. Ainsi, un diapason appuyé

sur une pièce de bois quelconque, sera renforcé assez fortement. Dans les instruments à cordes, le chevalet transmet les vibrations de la corde, quel que soit leur nombre et conséquemment leur hauteur, à la table, et celle-ci communique les siennes au fond par l'intermédiaire de l'âme. L'air que la caisse renferme, sollicitée à son tour, ajoute le résultat de ses vibrations à la sonorité générale, qui dépend des bonnes proportions et des qualités de résonnance des matières employées à la confection de l'instrument.

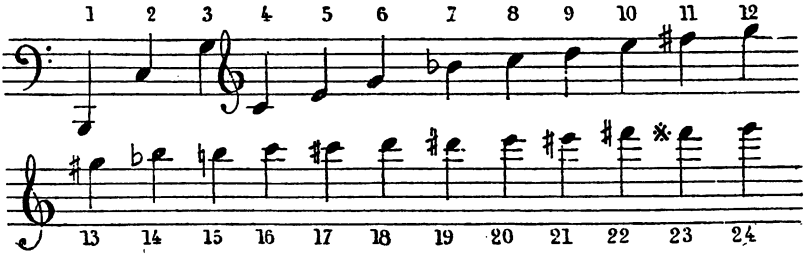
La troisième qualité du son est le *timbre*, que les Allemands traduisent par *Klang farbe*, couleur du son, et qu'on ne pourrait réellement mieux définir.

C'est le timbre qui fait distinguer l'un instrument de l'autre, quoique donnant des sons de hauteurs égales. C'est par le timbre que l'on distingue le son de la flûte de celui du hautbois. Grâce aux travaux récents de Helmholtz, la raison du timbre a pu définitivement s'expliquer.

Il est nécessaire d'expliquer ici ce que l'on entend par les harmoniques d'un son.

On entend par harmoniques les sons qui font 2, 3, 4, 5, 6, etc., fois plus de vibrations que celui qui sert de point de départ et qu'on appelle *son fondamental*.

Ainsi, en prenant pour son fondamental l'*ut*, nous avons la série des sons harmoniques suivants, dont les nombres de vibrations augmentent en raison de la progression arithmétique 1, 2, 3, 4, 5, 6, etc.



Nous trouvons, en examinant la succession de ces harmoniques, que l'octave d'un son exécute un nombre de vibrations exactement double de celui du son primitif. Que deux sons donnent l'intervalle de quinte, lorsque le premier vibre deux fois pendant que le second vibre trois fois ; en un mot, que le rapport qui donne la quinte est comme 2 est à 3. Que deux sons représentent l'intervalle de quarte juste, lorsque le premier vibre trois fois pendant que le second vibre quatre fois, et, conséquemment, que le rapport de la quarte juste est comme 3 est à 4.

En poursuivant, ainsi que nous venons de le faire, l'examen de tous les harmoniques, on parvient, comme nous le verrons plus loin, à déterminer les rapports existant entre tous les intervalles employés en musique.

Le son fondamental est produit par la forme de vibration la plus simple du corps sonore ; les harmoniques sont produits différemment, selon la nature des corps vibrants, mais ils résultent tous du partage du corps sonore en parties égales, vibrant à l'unisson.

Ainsi, quand nous faisons vibrer une corde de violon en l'écartant de sa position d'équilibre, nous pouvons nous représenter l'image de sa vibration par la figure suivante :

C'est le son fondamental ; la corde n'en peut émettre de plus grave.

Si nous touchons la corde légèrement en son milieu, au lieu de continuer à vibrer, ainsi que nous le voyons par la figure précédente, la corde se divise en deux concamérations vibrant

exactement à l'unisson; mais, au lieu d'avoir le son fondamental, nous avons l'octave ou deuxième harmonique avec un nombre de vibrations doubles.

La figure suivante représente ce mode de vibration :

Si nous touchons la corde pendant qu'elle vibre, au tiers de sa longueur, elle se divise en trois parties ou concamérations égales vibrant à l'unisson, et nous avons la figure suivante :

Le son produit est à la quinte du second ou à la douzième du premier; c'est le troisième harmonique avec un nombre de vibrations triple.

Nous pouvons conclure de ce qui précède que puisqu'un corps sonore vibrant dans son entier donne 1 vibration par exemple, que le $\frac{1}{2}$ de ce corps donne 2 vibrations, que le $\frac{1}{3}$ de ce corps donne 3 vibrations et que le $\frac{1}{4}$ de ce corps donne 4 vibrations, nous pouvons en conclure, disons-nous, que la longueur des parties vibrantes est proportionnelle en sens inverse au nombre de vibrations.

Nous avons dit que pour produire un harmonique quelconque d'une corde, il fallait toucher légèrement la corde à la place déterminée pour la formation de cet harmonique; cette necessité est évidente, car si l'on appuyait le doigt trop forte-

ment, on empêcherait le son de se transmettre aux autres parties de la corde et on ne produirait plus, dans ces conditions, un harmonique du son fondamental représenté par toute la longueur de la corde, mais un nouveau son fondamental plus aigu que le premier.

Lorsqu'un corps vibre de telle sorte qu'il émet le son que nous désirons entendre, il se subdivise en outre, à notre insu et quoi que nous fassions, en une quantité de petites parties imperceptibles dont les vibrations engendrent des harmoniques qui accompagnent presque toujours le son primitif, et ce sont ces harmoniques qui, se combinant de mille façons diverses selon la nature du corps sonore, donnent lieu à la qualité du son que nous nommons timbre.

Les sons résultants différentiels et additionnels produits inévitablement par la présence des harmoniques qui se combinent à leur tour entre eux, modifient encore le timbre.

Les sons simples, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas accompagnés d'harmoniques, sont très-rares, ou plutôt n'existent pas. Les diapasons et quelques sons de flûte donnent à peu près l'idée d'un son simple.

Helmholtz nous a donné le moyen d'analyser le timbre d'un son en séparant les harmoniques qui entrent dans sa composition.

Dans quelques sons, on peut, avec un peu d'habitude, reconnaître, par le seul secours de l'oreille, les harmoniques qui accompagnent ; mais, pour décomposer le son plus sûrement, Helmholtz a imaginé ce qu'il nomme *ses résonnateurs*.

Nous avons vu, lorsque deux sons étaient exactement à l'unisson, qu'il suffisait de faire vibrer l'un pour que l'autre vibrât par influence. Partant de ce principe, le célèbre acousticien a fait construire tout une série de globes creux, dont la capacité intérieure est accordée à l'unisson de chacun des harmoniques du son qu'il s'agit d'analyser.

Ces globes sont construits de façon à ce qu'ils puissent s'introduire, par une extrémité disposée à cet effet, dans le tuyau

de l'oreille. Ils ont la forme représentée par la figure suivante :

Ainsi, en supposant que l'on veuille examiner la composition du timbre d'un ut_1, on accorde les résonnateurs avec chacun des harmoniques de ce son.

Si nous faisons vibrer l'ut_1, et que nous mettions en communication avec le conduit auditif le résonnateur accordé à l'ut_2, nous entendrons cet harmonique considérablement renforcé s'il rentre dans la composition du son analysé ; au contraire, le résonnateur restera muet si le deuxième harmonique n'y rentre pas.

Prenant le résonnateur accordé à l'unisson du sol_2, ou troisième harmonique, le même phénomène de renforcement se produira si cet harmonique accompagne le son primitif.

On procède de même pour tous les autres sons que l'on suppose accompagner le premier.

Helmholtz ne s'est pas contenté d'analyser le timbre, il l'a aussi reconstitué par la synthèse. Ainsi, après avoir déterminé par ses résonnateurs les harmoniques qui constituent le timbre d'une voyelle prononcée par la voix, il a rassemblé un nombre de diapasons accordés à l'unisson de chacun de ces harmoniques, et en les faisant vibrer simultanément au moyen d'un courant électrique, il est parvenu à reconstituer presque exactement le son de la voyelle.

Une expérience, bien facile à faire, permettra à chacun de

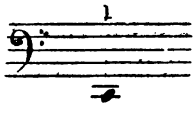
vérifier l'exactitude de la définition du timbre donnée par Helmholtz.

Que l'on soulève les étouffoirs d'un piano de façon à permettre à chaque corde de vibrer librement; qu'on approche avec un instrument de musique quelconque en donnant n'importe quelle note à l'unisson de l'une des notes du piano, immédiatement le piano reproduira le son provocateur, qu'il soit donné par une clarinette, un cor, peu importe. Chacune des cordes du piano, d'accord avec l'un des harmoniques de l'instrument, sera sollicitée au mouvement par un son de même hauteur, entrera en vibration, et de cet ensemble résultera un son composé, dont le timbre sera presque exactement semblable à celui de l'instrument qui aura servi à l'expérience.

Le timbre nous ayant amené à causer dès à présent des harmoniques, nous dirons ici, afin de ne plus devoir revenir plus tard sur ce sujet, que la série de ces sons employés en musique peut se diviser en cinq octaves :

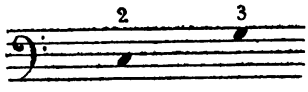
L'octave fondamentale qui ne contient qu'un son, le son 1.					
L'octave	grave qui en	contient	2,	les sons	2.3
»	moyenne	»	4	»	4.5.6.7
»	aiguë	»	8	»	8.9.10.11.12.13.14.15.
»	suraiguë	»	16	»	16.17.18.19.20, etc. (*).

Ainsi, en parlant encore une fois d'*ut*, nous avons dans l'octave fondamentale, le son

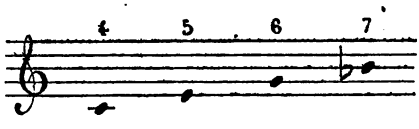


(*) Nous sommes redevables de cette classification des harmoniques à M. Gevaert, Directeur du Conservatoire de Bruxelles.

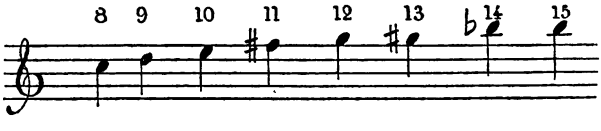
dans l'octave grave, les sons



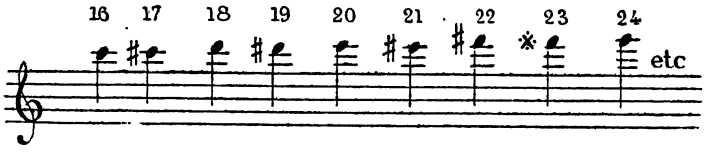
dans l'octave moyenne, les sons



dans l'octave aiguë, les sons



dans l'octave suraiguë, les sons



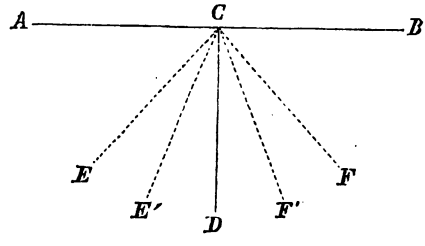
Tous ces sons, dans leurs rapports avec la note fondamentale, ne sont pas justes au point de vue des rapports qu'exige notre organisation musicale. Nous les avons notés en nous servant des signes de la musique dont ils se rapprochent le plus.

Le classement des harmoniques en octaves, déterminées par

les désignations précédentes, nous permettra bien souvent de restreindre des explications sans manquer de clarté.

Il nous reste à examiner comment se comporte le son à l'égard des quelques autres lois auxquelles il est soumis. Ces lois, quoique de moindre importance pour le sujet qui fait l'objet de nos études, méritent cependant notre attention. Nous examinerons donc *la réflexion*, *la réfraction* et *l'inflexion* du son, en passant rapidement sur les phénomènes qui en résultent.

Les lois de la *réflexion* du son sont les mêmes que celles de la réflexion des rayons lumineux : les ondes sonores qui rencontrent un obstacle sont renvoyées absolument comme le sont les rayons lumineux, c'est-à-dire que l'angle du rayon incident est égal à celui du rayon réfléchi :



Supposons un son quelconque frappant la ligne AB dans la direction EC et formant, conséquemment, avec la ligne CD, l'angle ECD. Arrivé en C, le son, rencontrant l'obstacle, sera réfléchi dans la direction CF, de façon à former un angle FCD parfaitement égal au premier. L'angle ECD est l'angle *d'incidence*, l'angle FCD est l'angle de *réflexion*.

Il est évident que plus la ligne EC se rapprochera de la ligne DC, plus la ligne FC s'en rapprochera également, et que si nous avions comme rayon incident E'C, nous aurions pour rayon réfléchi F'C. Si le rayon incident se confondait avec la ligne DC, le rayon réfléchi CD reprendrait la même direction.

Le son frappant des obstacles durs est naturellement réflé-

chi avec plus d'intensité que celui qui frappe des corps mous, n'ayant aucune élasticité. C'est pour cette raison qu'une salle nue est plus sonore qu'une chambre garnie de meubles et de tapis.

La sonorité d'un orchestre peut être jugée excellente à une répétition et trouvée très-mauvaise à l'exécution, alors que la salle est remplie de monde, le son s'amortissant contre les habits des auditeurs. Contrairement, une salle jugée mauvaise à la répétition, par suite d'une trop forte résonnance ou de trop d'échos, peut être trouvée excellente lors de l'exécution, pour les mêmes raisons qui la rendaient mauvaise dans l'exemple précédent.

C'est la réflexion du son qui donne naissance aux échos.

En supposant que la ligne AB représente la direction d'un mur et qu'on veuille entendre l'écho de sa propre voix, il faudra se placer dans une direction perpendiculaire à la surface du mur AB, conséquemment en un point de la ligne CD, puisqu'il est évident que la voix émise sur un des points de cette ligne sera renvoyée dans la même direction.

L'essentiel est de ne pas se mettre trop près du mur pour que l'écho ne se confonde pas avec la voix. Voyons donc qu'elle est la distance minimum nécessaire pour produire un écho.

Il est généralement admis qu'on prononce en moyenne 5 syllabes en une seconde; conséquemment il nous faut $\frac{1}{5}$ de seconde pour prononcer une syllabe ; et, pour que l'écho répète cette syllabe immédiatement après nous, il faut que nous nous placions à une distance assez grande pour que le commencement de la syllabe renvoyée par l'écho succède à celle prononcée par la voix.

Nous avons vu que le son parcourt 340 mètres en une seconde; en $\frac{1}{5}$ de seconde, il parcourra donc $\frac{340}{5} = 68$ mètres, En nous plaçant à 34 mètres du mur, le son, pour revenir à nous, aura à parcourir deux fois la distance, une fois pour l'aller, une fois pour le retour.

Dans ces conditions, nous obtenons un écho monosyllabique.

Il est évident que pour obtenir un écho polysyllabique, il faudra multiplier la distance par 2, 3, 4, selon qu'on voudra obtenir un écho de 2, 3, 4 syllabes.

La réflexion du son donne lieu bien souvent à des phénomènes très-curieux.

Il existe à Londres, à l'église Saint-Paul, une galerie circulaire que l'on montre à tous les étrangers et qui est appelée « *Whispering gallery*, » galerie de chuchoterie, à cause du phénomène qui s'y constate.

Une phrase dite à voix basse en se tournant pour la prononcer contre le mur de la galerie, est entendue distinctement par l'observateur placé en face et séparé de celui qui parle de tout le diamètre de la coupole qui est immense. Si l'observateur se rapproche de façon à diminuer la distance entre lui et la source du son, il n'entend absolument rien.

Cet écho ne peut s'expliquer autrement que par la réflexion des ondes sonores contre la muraille circulaire et se réunissant au point opposé de la voûte qui est le foyer de la courbe.

Si l'on place deux miroirs paraboliques à une certaine distance l'un de l'autre, de façon à ce que les rayons parallèles de l'un viennent converger au foyer de l'autre, il est possible d'enflammer un morceau d'amadou placé au foyer de l'un par une source de chaleur placée au foyer de l'autre. De même, si nous plaçons une montre au foyer de l'un des miroirs, son mouvement est silencieux pour tous, excepté pour l'observateur écoutant au foyer du miroir opposé à celui où se trouve la montre.

C'est au foyer que les ondes sonores parallèles émises par le miroir opposé convergent et que se reproduit le plus léger bruit qui surgit au foyer de l'autre.

C'est par *réfraction* que les ondes sonores, ainsi que les moyens lumineux, changent de direction en passant d'un milieu dans un autre.

Si l'on plonge une canne dans l'eau, la canne semble se déformer : la partie qui est dans l'eau paraît se plier et for-

mer un angle avec la partie restée en dehors. Cette illusion est due à la réfraction de la lumière. Au moyen d'une lentille faite d'un ballon rempli d'un gaz plus dense que l'air, on arrête la marche des ondes sonores qui la traversent et on peut condenser en un certain point les rayons divergents provenant d'une source sonore.

C'est par *inflexion* que les ondes sonores contournent les obstacles, en perdant, toutefois, une partie de leur intensité, ils produisent ainsi, encore une fois comme la lumière avec laquelle ils ont beaucoup d'analogie, une ombre du son.

La construction des instruments de musique est basée sur les vibrations des corps sonores et conséquemment sur :

1° Les vibrations des cordes ;
2° La vibration de l'air dans les tuyaux ;
3° Les vibrations des verges, lames, plaques et membranes.

Nous étudierons sommairement chacune de ces classifications afin de nous familiariser avec la théorie sur laquelle repose la construction des instruments de musique dont nous nous servons.

Cette théorie est d'une utilité plus grande qu'on ne le croit généralement ; elle nous aidera, dans tous les cas, à combattre victorieusement ces erreurs grossières, ces vieux préjugés qui semblent vouloir faire de la facture instrumentale un art n'ayant d'autres procédés que ceux que lui fournissent la routine et les tâtonnements.

CHAPITRE II.

VIBRATIONS DES CORDES.

Les vibrations des cordes sont de deux sortes : longitudinales et transversales.

Les vibrations longitudinales se forment en frottant la corde dans le sens de sa longueur, soit avec l'archet, soit avec les doigts ou un morceau d'étoffe enduits de colophane. Ces vibrations ne sont pas employées.

Les vibrations transversales se forment lorsqu'on écarte la corde dans le sens perpendiculaire à sa longueur, soit au moyen de l'archet, soit en la pinçant ou en la frappant.

Les vibrations transversales sont celles de tous les instruments à cordes et sont soumises aux quatre lois suivantes, dont l'existence se démontre expérimentalement par le *sonomètre.*

Les vibrations des cordes sont :

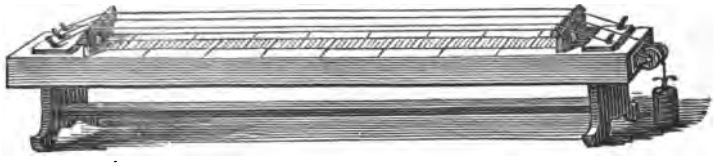
1° En raison directe des racines carrées des poids tenseurs ;

2° En raison inverse des racines carrées des densités ;

3° En raison inverse des diamètres ;

4° En raison inverse des longueurs.

Le sonomètre est une caisse rectangulaire, en bois de sapin, montée de deux cordes reposant sur deux chevalets fixes, placés l'un de l'autre à la distance d'un mètre. La capacité intérieure de la caisse est accordée de façon à donner le plus d'intensité possible au son engendré par la vibration des cordes. Sous chacune des cordes glisse un chevalet mobile qui permet de donner à celles-ci des longueurs différentes, qui se déterminent par une règle divisée en millimètres, appliquée entre les deux chevalets fixes. La tension des cordes s'opère au moyen de chevilles adaptées aux extrémités de l'appareil.



La première loi, *les vibrations sont en raison directe des racines carrées des poids tenseurs*, se vérifie de la façon suivante :

On attache sur le sonomètre une troisième corde, et au lieu d'opérer la tension par les chevilles, on y applique un poids quelconque que nous nous représentons par 4. Faisons vibrer la corde, et pour ne pas oublier la hauteur du son produit, prenons l'unisson en nous servant de l'une des autres cordes du sonomètre.

Remplaçons maintenant le poids 4 par un autre, que nous nous représentons par 9. Faisons vibrer la corde, nous la trouverons exactement à la quinte de celle qui nous a gardé la hauteur de la tension procurée par le poids 4. Nous avons vu précédemment que le rapport de la quinte est de 2 : 3, c'est-à-dire que, pour obtenir cet intervalle, il faut que

l'un des deux sons fasse 2 vibrations pendant que l'autre en fait 3.

Nous savons que la racine carrée d'un nombre est le chiffre qui, multiplié par lui-même, donne ce nombre; conséquemment, la racine carrée de 4 est 2, puisque 2 fois 2 font 4; la racine carrée de 9 est 3, puisque 3 fois 3 font 9.

Dans le cas qui nous occupe, les vibrations sont donc en raison directe des racines carrées 2 et 3 des poids tenseurs 4 et 9.

La seconde loi, *les vibrations sont en raison inverse des racines carrées des densités*, quoique plus compliquée, se vérifie aisément.

On appelle *densité* d'un corps, le rapport qui existe entre le poids d'un certain volume de ce corps et le poids d'un égal volume d'eau, lequel sert toujours de comparaison pour les solides et les liquides.

Pour établir ces rapports, la densité de l'eau est toujours considérée, comme 1.00. Ainsi, quand nous disons que la densité du fil de platine est 21, nous entendons par là qu'à volume égal, le platine en fil pèse 21 fois plus que l'eau.

Remplaçons les cordes ordinaires de notre sonomètre par deux cordes de même diamètre, l'une d'acier dont la densité est 7,5; l'autre de platine dont la densité est 21. Tendons-les sur l'instrument par un poids égal: les deux cordes seront à peu de chose près à l'intervalle de sixte mineure.

Nous verrons plus loin que deux sons se trouvent à l'intervalle de sixte mineure, lorsque leurs nombres de vibrations sont dans le rapport de 1 : 1, 6.

Appelons 1 le nombre de vibrations du fil de platine et représentons par x le nombre de vibrations du fil d'acier. D'après ce qui précède, nous avons : 1, nombre de vibrations du fil du platine, divisé par x, nombre de vibrations du fil d'acier, égale la racine carrée de 7,5, densité du fil d'acier, divisée par la racine carrée de 21, densité du fil de platine, ce qui s'écrit :

$$\frac{1}{x} = \sqrt{\frac{7,5}{21}}$$

d'où $$x = \sqrt{\frac{21}{7,5}} = 1,673$$ nombre de vibrations cherché pour ce fil d'acier, ce qui est conforme à la loi.

La troisième loi, *les vibrations sont en raison inverse des diamètres*, se vérifie facilement.

Plaçons sur notre sonomètre deux cordes de même substance, en ayant soin que le diamètre de l'une soit exactement le double du diamètre de l'autre. Tendons-les toutes deux par un poids égal ; la corde la plus fine donnera exactement l'octave de l'autre, et conséquemment produira un nombre de vibrations double, corroborant ainsi la définition de la troisième loi.

La quatrième loi, *les vibrations sont en raison inverse des longueurs*, est celle dont la vérification est la plus simple.

Si l'on fait vibrer la corde à la moitié de sa longueur, on constate qu'elle exécute un nombre de vibrations double de celles que produit la corde vibrant dans son entier, le son obtenu est exactement à l'octave du son fondamental.

Si l'on fait vibrer la corde au tiers de sa longueur, le nombre de vibrations constaté est triple, le son obtenu donne la quinte de l'octave du son fondamental.

Nous avons dit, en parlant des moyens d'évaluer la hauteur d'un son, que le sonomètre est l'instrument le plus pratique et le plus facile pour arriver à un résultat très-satisfaisant. Maintenant que nous connaissons cet instrument et la loi des vibrations des cordes sur lesquelles repose sa construction, nous allons essayer d'expliquer comment on opère.

On se procure un diapason dont on connaît exactement le nombre de vibrations, le la_3 normal de 870 vibrations par exemple.

On écarte le chevalet mobile du chevalet fixe de façon à obtenir une longueur de corde dont le son soit exactement à l'unisson du diapason, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'elle exécute 870 vibrations. Supposons que cette longueur soit de 594 millimètres. On glisse ensuite le chevalet jusqu'à ce que la longueur de corde soit à l'unisson du son dont on recherche le nombre de vibrations; supposons qu'on arrive à ce résultat avec une longueur de corde de 561 millimètres, nous avons alors, en vertu de la loi des longueurs que nous connaissons, la proportion suivante :

$$\frac{1}{594} : \frac{1}{561} = 870 : x$$

d'où :

$$x = \frac{870 \times 594}{561} = 922 \text{ vibrations,}$$

c'est-à-dire que le son dont nous avons recherché la hauteur exécute 922 vibrations simples en une seconde.

Le sonomètre, qui est peut-être encore aujourd'hui l'instrument le moins connu des facteurs et des musiciens, est celui qui, cependant, peut leur rendre le plus de services.

Non-seulement cet instrument leur facilite l'étude des différents rapports de la gamme, rapports que nous étudierons plus loin, mais il permet aussi de se rendre compte de la formation de certaines gammes, présentées de nos jours, par quelques théoriciens, comme bases des lois harmoniques. Ces gammes sont déterminées par le nombre des vibrations qui donne le rapport de leurs intervalles; le musicien, à l'aide de la connaissance des lois que nous venons d'étudier, pourra facilement se les représenter sur le sonomètre.

Nous parlerons plus loin des rapports de vibrations entre les intervalles de la gamme dite *à tempérament égal*, dont les divisions se trouvent ordinairement marquées sur la table du sonomètre. Quel que soit le diapason d'un instrument, il suffit,

pour examiner la justesse rigoureuse de chacun de ses degrés, d'accorder l'un de ces degrés avec une des divisions du sonomètre pour avoir la division exacte de la gamme tempérée basée sur ce diapason, et cette base, dont l'exactitude est infaillible, permettra de contrôler degré par degré la précision rigoureuse de l'instrument.

Il est utile d'insister sur la valeur du sonomètre admis comme guide pour l'accord des instruments de musique, alors que chaque pays, chaque ville et quelquefois même chaque orchestre, a un diapason différent.

Pourquoi continuer cet état de choses embarrassant, conserver cette multiplicité de diapasons, alors qu'un instrument unique peut nous les donner tous?

Voici de quelle façon le sonomètre peut nous rendre ce nouveau service. Cet instrument est monté de deux cordes, que l'on met toutes deux à l'unisson du diapason fixe et invariable de 870 vibrations.

Les deux *la* étant bien d'accord, on recule le chevalet mobile de l'une des cordes, en augmentant ou en diminuant sa longueur, jusqu'à ce qu'elle soit à l'unisson du diapason imposé; on constate l'écartement entre les deux *la*, et cette différence étant inscrite, permet de retrouver toujours et avec certitude le diapason de tel ou tel orchestre.

Aujourd'hui, un musicien, s'il veut avoir un instrument à un diapason spécial, doit nécessairement envoyer au facteur un diapason d'acier ou même un instrument pour servir de type à la construction. Si le sonomètre était plus répandu, il suffirait d'indiquer l'écartement entre le diapason normal et le diapason désiré, pour qu'il soit facile au facteur de se rendre compte de celui-ci. On commande quelquefois aussi des instruments à 1/4, 1/8, etc., de ton de différence avec tel diapason, sans bien comprendre la portée de ces désignations ; si le facteur les suivait rigoureusement il en résulterait, le plus souvent, des envois d'instruments à des diapasons bien différents de ceux que l'on aurait souhaités.

Mais revenons à l'étude des vibrations des cordes, où le sonomètre nous servira encore.

Nous avons vu, page 22, ce qu'on entend par les harmoniques d'un son; nous avons commencé également l'explication de leur formation dans la vibration des cordes. Reprenons cette étude, sur laquelle nous n'avons anticipé que dans le but d'expliquer la formation du timbre.

Lorsqu'une corde vibre dans toute sa longueur, c'est-à-dire entre les deux chevalets fixes du sonomètre, qui sont placés dans la construction de cet instrument à un mètre de distance, cette corde rend le son fondamental. Nous présentons l'image de cette vibration par la figure suivante :

Dans ces conditions, la corde rend le son le plus grave, désigné quelquefois sous le nom de *son* 1, pour exprimer le rapport de ses vibrations avec les autres.

Si, alors que la corde vibre dans toute sa longueur, nous la touchons légèrement à son milieu, c'est-à-dire à une distance de 50 centimètres, la corde continue à vibrer dans son ensemble, mais en se partageant en deux parties séparées par un nœud, là où la vibration de la corde est amortie par le toucher du doigt.

La figure suivante nous représente l'image de cette vibration :

Les parties vibrantes sont en opposition de chaque côté du

nœud, c'est-à-dire que si la corde monte d'un côté du nœud, elle descend de l'autre. La courbe suivante expliquera ce modé de vibration :

On peut, du reste, prouver que les divisions de la corde vibrent en sens contraire, en l'attaquant avec deux archets à la fois dans des directions opposées, l'un à 25 centimètres de longueur de la corde du sonomètre, l'autre à 75 centimètres. En poussant l'un des archets et en tirant l'autre, le son obtenu sera celui représenté par la figure 2, c'est-à-dire l'harmonique 2, donnant l'octave du son fondamental avec un nombre de vibrations double.

Amortissons la vibration de la corde en la touchant légèrement au tiers de sa longueur, c'est-à-dire à un point situé à peu près à 33 centimètres de l'un des chevalets fixes. La corde se divisera en trois segments ou ventres, séparés par deux nœuds. Nous aurons l'harmonique 3, le son sera à la quinte de l'harmonique 2, le nombre de vibrations sera triple de celui du son fondamental et nous aurons la figure suivante :

Si nous touchons la corde au quart de sa longueur, c'est-à-dire en un point situé sur le sonomètre, à 25 centimètres de l'un des chevalets fixes, la corde se divisera en quatre segments séparés par trois nœuds. Nous aurons un son à la double octave

du son fondamental avec un nombre de vibrations quadruple, c'est l'harmonique 4.

Si nous amortissons la vibration de la corde au cinquième de sa longueur, c'est-à-dire à 20 centimètres, nous verrons la corde se diviser en cinq segments séparés par quatre nœuds. Le son produit aura un nombre de vibrations quintuple de celui du son fondamental, et il sera à l'intervalle de tierce majeure du quatrième harmonique. Ce son est désigné sous le nom d'harmonique 5.

Il n'y a pas de limite pour la division des cordes, mais il est facile à comprendre que plus la corde est longue plus les divisions sont faciles.

Ainsi une corde de violoncelle peut se diviser successivement de façon à produire tous les sons compris entre 1 et 16.

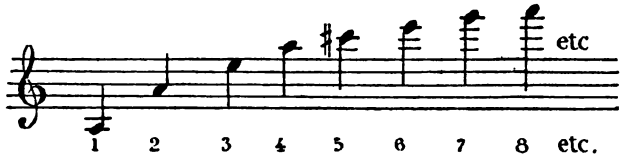
D'après ce que nous venons de voir, pour obtenir tous les harmoniques d'une corde, il suffit de la diviser, en l'effleurant du doigt, en longueurs de plus en plus courtes.

Ainsi, la chanterelle d'un violoncelle vibrant dans son entier donne le *la*$_2$, *son fondamental.* Si nous touchons la corde

à la $\frac{1}{2}$	nous avons	le son	2	à l'octave du précédent,
au $\frac{1}{3}$	»	»	3	à la quinte du précédent,
au $\frac{1}{4}$	»	»	4	à la quarte juste du précédent,
au $\frac{1}{5}$	»	»	5	à la tierce majeure du précédent.

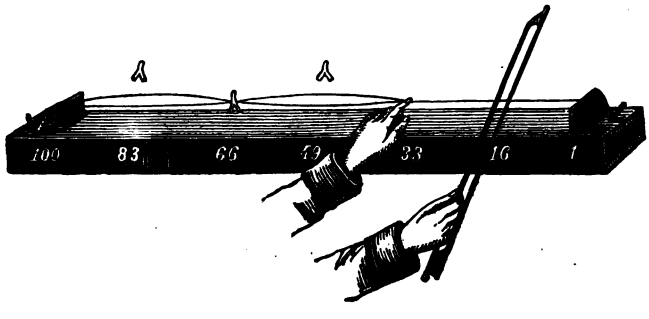
et ainsi de suite jusqu'à l'harmonique 16, produit par une légère pression du doigt au $\frac{1}{16}$ de la longueur de la corde.

Partant donc du la_2, nous aurons les sons suivants :



Lorsque les cordes ne sont pas très-longues, il est assez difficile de constater leur partage, pour la production des harmoniques, en parties égales, vibrant à l'unisson et séparées par des nœuds ; mais il est très-facile de prouver cette division.

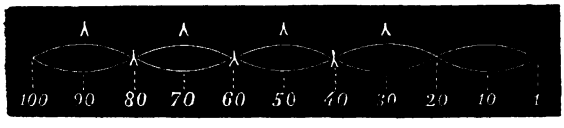
Prenons le sonomètre avec l'intention de produire l'harmonique 3 de la corde. Pour y parvenir, nous avons dit qu'il fallait légèrement effleurer la corde au tiers de sa longueur. Prenons de petits bouts de papiers découpés de manière à pouvoir les mettre à cheval sur la corde, et posons-les aux endroits indiqués par les longueurs de 49, 66, 83, centi-



mètres. Mettons la corde en vibration en l'attaquant, à la longueur de 16 centimètres, avec un archet; le jalon posé

sur la corde au point 66 s'y maintiendra ; c'est la place d'un nœud, la corde n'y vibre pas assez pour le rejeter. Aux points 83 et 49, qui sont des ventres, la corde a la plus grande amplitude de vibration et les jalons sont rejetés.

Si nous voulions produire l'harmonique 5, il suffirait de toucher la corde à 20 centimètres de la longueur, et de la faire vibrer en l'attaquant par l'archet à la distance de 10 centimètres. Les jalons posés à l'endroit des nœuds, à 40, 60 et 80 centimètres, resteraient en place et seraient rejetés a l'endroit des ventres, c'est-à-dire aux points situés à 30, 50, 70 et 90 centimètres de l'instrument.



Le célèbre docteur anglais Thomas Young a, le premier, démontré qu'une corde ébranlée en un point quelconque, ne donne pas l'harmonique pour la formation duquel ce point devrait être un nœud.

Ainsi, si nous ébranlons une corde en la pinçant au milieu de sa longueur et si nous l'effleurons à son point d'ébranlement, il ne nous sera pas possible de produire l'harmonique 2, parce que la formation de cet harmonique exige un nœud au milieu de la corde, et qu'en l'attaquant précisément à cet endroit, la formation de ce nœud est impossible, la corde ayant là son maximum de vibration.

Il est évident que, si nous ne pouvons produire l'harmonique 2, même en forçant le partage de la corde, ainsi que nous venons de le voir, cette harmonique ne fera pas partie du cortége des harmoniques qui accompagnent le son fondamental pour en caractériser le timbre, chaque fois que la corde sera mise en vibration en l'ébranlant à la moitié de sa longueur. Il en résulte que le timbre d'une même corde peut varier,

selon qu'elle est ébranlée à la moitié au tiers, au quart, etc., de sa longueur, parce qu'on élimine les harmoniques 2, 3, 4, etc., pour la formation desquels les points d'ébranlement devraient être des nœuds.

Cette découverte de Young reçoit son application dans la fabrication des pianos.

Nous verrons plus loin que les harmoniques 7, 9 et 11 forment dissonance avec les autres.

Il importe donc, pour que les sons fondamentaux, seuls employés dans la fabrication des pianos, soient le plus purs possible, d'éliminer de l'ensemble des sons qui les accompagnent, les harmoniques faux de la série. Pour y arriver, rien de plus facile : il suffit tout simplement, conformément à la loi de Young, de frapper la corde à la septième ou à la neuvième partie de sa longueur.

Cette théorie, si elle n'est pas connue de tous les facteurs de pianos, est néanmoins généralement mise en pratique dans la construction de leurs instruments, l'expérience ayant démontré que la résonnance est plus belle, plus agréable lorsque le marteau frappe les cordes à la septième ou à la neuvième partie de leur longueur.

Une corde qui vibre seule n'a pas assez d'influence sur l'air qui l'environne pour transmettre le son qu'elle produit à quelque distance.

Prenons une corde de violon dont la longueur moyenne est de 327 millimètres ; attachons-la à une tringle de fer quelconque, et suspendons-y un poids de 7 à 8 kilogrammes, qui équivaut à la tension que supporte la corde sur le violon. Le son, si nous faisons vibrer la corde, sera à peine entendu. Retirons la corde de la tringle et remplaçons celle-ci par une tablette en bois de sapin. Placée dans ces conditions, la corde vibrera avec une intensité assez grande pour que le son produit soit entendu de tous.

La tablette de bois, appelée table d'harmonie, sert ici de corps renforçant ; c'est de sa qualité, de son élasticité plus ou

moins grande que dépendra l'intensité du son. Si nous combinons un appareil où le son est non-seulement renforcé par des surfaces de bois, mais encore par une masse d'air renfermé entre leurs parois, nous obtenons le maximum d'intensité : ce sont des appareils semblables qui servent de base à la construction de la plupart de nos instruments à cordes.

La nécessité d'ajouter de grandes surfaces élastiques aux corps en vibration, pour en renforcer la sonorité, est assez curieusement démontrée dans la belle expérience qui suit et que nous empruntons à l'excellent ouvrage de M. John Tyndall, *le Son :*

« Nous sommes actuellement en mesure d'apprécier une
» belle expérience due à M. le professeur Wheatstone, et que
» je suis heureux de pouvoir exécuter devant vous. Dans une
» salle située au rez-de-chaussée, et dont nous sommes séparés
» par deux étages, se trouve un piano. A travers les deux pla-
» fonds passe un tube de fer-blanc de 6 à 7 centimètres de
» diamètre, traversé suivant son axe par une longue baguette
» de sapin, dont une extrémité sort du plancher en avant de
» cette table. La baguette est entourée d'une bande de caout-
» chouc de manière à remplir entièrement le tube de fer blanc ;
» l'extrémité inférieure de la baguette repose sur la table
» d'harmonie du piano. Un artiste joue actuellement un mor-
» ceau de musique, mais vous n'entendez aucun son. Je pose
» ce violon sur l'extrémité de la baguette, et voici que le violon
» rend à son tour l'air joué par l'artiste, non par les vibra-
» tions de ses cordes, mais par les vibrations du piano. J'en-
» lève le violon, la musique cesse; je mets à sa place une gui-
» tare, et la musique recommence. Au violon et à la guitare,
» je substitue une table de bois, elle rend à son tour tous les
» sons du piano. Voici enfin une harpe, j'appuie sa table
» d'harmonie contre l'extrémité de la baguette, et vous enten-
» dez encore chacune des notes du piano. Je soulève assez la
» harpe pour qu'elle ne soit plus en communication avec le

Que d'artistes ne se sont-ils pas obstinés à me faire aux défauts de leurs instruments par des moyens ai opposés aux seuls qui dussent être employés !

Mais d'où provient ce dédain pour une connaissan

Il provient d'abord, selon moi, de ce que l'étude tique présentée comme *science*, cause certaines app mal fondées ; en second lieu, de ce que les livres qui l' exigent, pour être compris, des notions spéciales qu cien, généralement absorbé par l'étude artistiqu acquérir.

Convaincu de la vérité de cette opinion par m constants avec les artistes, j'ai résumé en quelqu les éléments d'acoustique qui leur sont nécessair

Mon but n'est pas de faire un traité, il en a été publié sur cette matière, ni, élevant mes prétenti de mes capacités, de produire une œuvre littérai

Mon but est de procurer aux artistes un n s'initier aux règles de l'acoustique par la lectur la simplicité et la clarté sont les seuls mérites.

Je serai récompensé de mes patientes et la ches si ce modeste ouvrage peut contribuer les musiciens, le goût d'une science qu'ils connaître.

---

médiocre par suite du

corde soit juste, et pour
ment cylindrique sur toute
égale partout. Ces qualités
cordes à boyau; les cordes
métalliques minces sont
conditions de justesse. C'est
sont recherchées de préfé-
monomètre. Malheureusement les
employer pour tous les instru-

lorsque la moitié de sa longueur
fondamental ; lorsque le tiers de
; le quart, la double octave,

de la justesse de deux cordes au
mince, que l'on appuie sur
soin de la tenir, à angle droit
préalablement accordées à la
il est évident que les cordes sont
maintient rigoureusement, quelle
parties vibrantes. Il est très-rare que
toute la longueur de deux cor-
alle de quinte juste, on est obligé
qui annonce un défaut dans les
par M. Delezenne, dans sa bro-
Observations sur les cordes des instru-

soit monté dans de bonnes condi-
faisant des angles égaux avec le
placées à égale distance l'une

par l'âme que les vibrations de la table

„ piano, le son s'éteint. Les sons du piano ressemblent tant à
„ ceux de la harpe qu'il est difficile de se défendre de l'impres-
„ sion que la musique que l'on éntend n'est pas celle de ce der-
„ nier instrument. Une personne sans éducation croirait bien
„ certainement à l'intervention d'un sorcier dans cette trans-
- mission si merveilleuse.

„ Quel curieux transport d'action se présente ici à notre
„ esprit! Au commandement de la volonté de l'artiste, ses
„ doigts abaissent les touches du piano, les marteaux frappent
„ les cordes, qui transforment en vibrations sonores les chocs
„ purement mécaniques. Ces vibrations sonores se commu-
„ niquent à la table d'harmonie du piano. Sur cette table pose
„ l'extrémité de la baguette de sapin, amincie sur ses bords,
„ pour qu'elle passe plus facilement entre les cordes; aussitôt
„ les pulsations rapides et confuses des dix doigts entrent par
„ ce bord dans la baguette et sont conduites par elle avec un
„ précision infaillible. La baguette à son tour communique à
„ la table d'harmonie de la harpe les vibrations qu'elle a si
„ bien conduites. Cette seconde table d'harmonie transmet le
„ mouvement à l'air, sous des formes ou arrangements de
„ molécules si transcendants et si complexes, qu'on ne saurait
„ attendre que de la confusion de ces mille ondes sonores qui
„ se choquent et se heurtent en tous sens. Mais la merveilleuse
„ oreille humaine est là apte à vibrer à l'unisson de toutes ces
„ formes de mouvements si diverses. Et voici que la lutte, le
„ combat et la confusion se traduisent dans le cerveau en
“ musique et harmonie (*) „.

Les connaissances que nous venons d'acquérir, vont nous permettre d'entrer dans quelques considérations sur le choix des cordes employées pour la monture des instruments. Ce choix a une importance beaucoup plus grande qu'on ne se l'imagine, et bien des instruments, dont les conditions de construction

(*) Dans cette expérience, on peut remplacer le piano par une simple boîte à musique.

sont excellentes, paraissent de qualité médiocre par suite du mauvais choix de leurs cordes.

Il faut, avant toute chose, qu'une corde soit juste, et pour qu'elle le soit, elle doit être parfaitement cylindrique sur toute sa longueur, et d'une homogénéité égale partout. Ces qualités se rencontrent difficilement dans les cordes à boyau; les cordes filées sont plus justes, et les cordes métalliques minces sont celles qui réunissent les meilleures conditions de justesse. C'est pour cette raison que les dernières sont recherchées de préférence dans les expériences du sonomètre. Malheureusement les cordes métalliques ne peuvent s'employer pour tous les instruments à cordes.

Une corde n'est pas juste lorsque la moitié de sa longueur ne donne pas l'octave du son fondamental ; lorsque le tiers de la corde ne donne pas la douzième; le quart, la double octave, et ainsi de suite.

Il est facile de s'assurer de la justesse de deux cordes au moyen d'une petite pièce de liége mince, que l'on appuie sur les deux cordes à la fois, en ayant soin de la tenir, à angle droit avec les cordes. Celles-ci étant préalablement accordées à la quinte juste l'une de l'autre, il est évident que les cordes sont exactes si cet intervalle se maintient rigoureusement, quelle que soit la longueur des parties vibrantes. Il est très-rare que cette justesse se conserve sur toute la longueur de deux cordes. Pour maintenir l'intervalle de quinte juste, on est obligé d'incliner la lame de liége, ce qui annonce un défaut dans les cordes. Ce moyen est indiqué par M. Delezenne, dans sa brochure « *Expériences et Observations sur les cordes des instruments à archets.*

Pour qu'un instrument soit monté dans de bonnes conditions, il faut que les cordes fassent des angles égaux avec le chevalet (*) et qu'elles soient placées à égale distance l'une de l'autre.

(*) Nous avons dit déjà que c'est par l'âme que les vibrations de la table

Il faut encore que la tension que supporte l'instrument soit égale pour chacune des cordes; de cette façon le chevalet est appuyé contre la table par des forces qui se font équilibre.

La longueur des cordes étant la même, nous n'avons plus, pour trouver les rapports nécessaires, que deux lois à notre disposition : celle *des diamètres* et celle *des densités*.

Le violon est monté de quatre cordes en relation de quinte, nous ne saurions choisir de meilleur instrument pour appuyer démonstrativement la théorie.

Supposons que nous ayons un bon *la* (deuxième corde) d'une grosseur de $0^{mm},9$.

Pour avoir une tension et une longueur égales, nous nous servirons de la troisième loi : les vibrations sont en raison inverse des diamètres, pour la recherche de la grosseur du *mi*.

Nous savons que *la-mi*, est un intervalle de quinte juste; nous avons appris aussi par l'étude des harmoniques, que deux sons sont en rapport de quinte, lorsque le premier fait 2 vibrations pendant que le second en fait 3.

Nous resterons donc dans des conditions de tension et de longueur égales en donnant au *mi* les $\frac{2}{3}$ du diamètre de la corde nécessaire au *la;* ce qui se fait en multipliant $0^{mm},9$, grosseur du *la*, par 2 et en divisant par 3, donc $\frac{0^{mm},9 \times 2}{3} = 0^{mm},6$.

En donnant au *mi* un diamètre de $0^{mm},6$ cette corde produira exactement la quinte du *la*, dans les conditions énoncées.

Pour obtenir le diamètre du *ré*, nous ferons absolument l'inverse. Nous savons, par l'exposé de la loi, que la corde doit être plus grosse et qu'elle se trouve également à la quinte juste mais inférieure du *la*. Nous devons donc avoir moins de

des instruments à archet sont communiquées au fond. La place de l'âme est très-importante. Dans les violons, elle est ordinairement à 4 millimètres en arrière du chevalet et à 18 millimètres à la droite du milieu de la table.

vibrations ; et à longueur et tension égales, nous aurons pour *ré* $\frac{0^{mm},9 \times 3}{2} = 1^{mm},35$.

En suivant le même raisonnement, nous aurons pour *sol* $\frac{1^{mm},35 \times 3}{2} = 2^{mm},025$.

Mais une corde pareille serait sourde pour le violon, en raison de son diamètre exagéré.

Que reste-il à faire pour obtenir une tension et une longueur égales, sans avoir un si grand diamètre? La chose est simple : on augmente la densité de la corde en l'entourant d'un fil très mince de métal; en termes ordinaires, on file la corde.

Nous nous trouvons donc en présence de la deuxième loi : *les vibrations sont en raison inverse des racines carrées des densités.*

Cette loi nous donne la formule algébrique

$$n : n' = \sqrt{\frac{1}{P}} : \sqrt{\frac{1}{P'}}$$

n et n' représentent dans cette formule le nombre de vibrations; P et P', la densité des cordes, ou leur poids.

Si nous représentons les nombres de vibrations par leur rapport de quinte, nous avons

$$3 : 2 = \sqrt{\frac{1}{P}} : \sqrt{\frac{1}{P'}}$$

ou

$$2 : 3 = \sqrt{\frac{1}{P'}} : \sqrt{\frac{1}{P}}$$

selon que l'on veut connaître le poids d'une corde d'une

quinte supérieure ou inférieure. En faisant disparaître le radical, nous avons :

$$9 : 4 = P' : P$$

ou

$$4 : 9 = P : P'$$

d'où la règle pratique suivante :

Pour connaître le poids d'une corde donnant avec une tension égale la quinte inférieure d'une corde de même longueur dont le poids est connu, multipliez ce poids connu par 9 et divisez par 4.

Pour connaître le poids de la corde donnant la quinte supérieure, multipliez le poids connu par 4 et divisez par 9.

Pesons donc notre dernière corde, *ré*, dont le diamètre nous est connu. Nous trouvons, par exemple $0^g,660$.

En vertu des règles précédentes, pour trouver le poids d'un *sol*, nous avons $\frac{0.660 \times 9}{4} = 1^g,485$ poids du *sol*.

On prend ordinairement pour grosseur des cordes à filer, des instruments à archet, celle de la corde qui donne la deuxième quinte précédente. Ainsi, pour un *sol* de violon, on file un *la*. On prend le poids de ce *la*, et la différence entre ce poids et celui du *sol* trouvé par la régle précédente, donne exactement le poids du fil de métal dont on doit l'entourer.

Si un *la* de violon pèse $0^g,288$, nous aurons pour le poids du fil métallique dont on doit l'entourer pour en faire un *sol* :

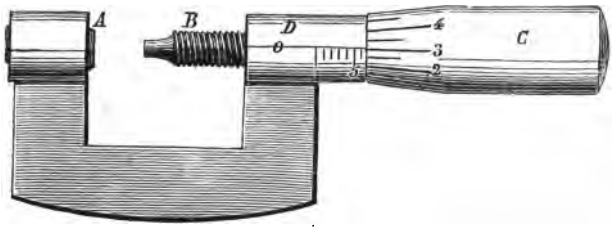
$$1^g,485 - 0^g,288 = 1^g,197.$$

Les règles précédentes sont d'une très-grande importance. Combien de fois n'avons-nous pas vu des musiciens juger de la grosseur nécessaire à une corde, sans se servir d'autres données que celles fournies par une expérience d'autant plus trompeuse qu'elle n'a pour tout fondement que la routine ou le parti pris.

Il est évident que dans la pratique, les règles que nous venons de déterminer ne peuvent pas toujours être fidèlement suivies : aussi notre intention n'est-elle pas de les imposer comme nécessité absolue ; nous voulons seulement, en éclairant théoriquement le musicien, lui permettre de juger en connaissance de cause les actes qu'il pose, et d'appuyer son raisonnement sur des faits certains expliqués par la science. Si alors des exceptions sont nécessaires, elles seront d'autant plus inoffensives que leur raison d'être sera plus connue.

On a cherché différents moyens pour mesurer exactement le diamètre d'une corde. Les calibres employés ordinairement par les musiciens sont d'autant plus mauvais, qu'ils sont généralement mal faits et d'une inexactitude désespérante. A notre avis, le *calibre Palmer* est l'instrument le plus précieux pour la détermination exacte du diamètre d'une corde, et par conséquent l'appareil indispensable pour le musicien désireux de graduer ses cordes en se servant des données fournies par la science.

Le calibre Palmer est représenté par la figure suivante, en grandeur naturelle :



A est un talon contre lequel s'appuie la corde à calibrer B est une vis dont les pas sont exactement à un millimètre de distance; cette vis fait partie du manche C, lequel, en tournant, rapproche l'extrémité de la vis B du talon A, et recouvre en même temps l'écrou fixe D. Ce dernier est divisé en millimètres dans le sens horizontal, et comme les pas de la

vis sont à un millimètre de distance, pour chaque tour du manche C on lira un millimètre de plus ou de moins sur l'écrou fixe D. Le manche C est divisé dans sa circonférence en 20 parties égales, ce qui fait que chacune de ses divisions correspond exactement à 1/20 de millimètre, puisqu'elle doit faire tout un tour pour écarter ou rapprocher la vis B d'un millimètre du talon A. Ainsi, dans la position de la figure, nous avons découvert 6 millimètres de l'écrou fixe, plus une partie que nous pouvons évaluer avec certitude à 3/10 de millimètres. Il y a donc dans cette position un écartement de $6^{mm},3$ entre le talon A et l'extrémité de la vis B.

Malgré l'importance des services à obtenir de l'instrument que nous venons de décrire, il est triste de constater qu'il n'est presque pas connu. Cette indifférence n'a pas d'excuse possible; elle n'existe même pas dans le prix, car le prix minime du calibre Palmer le rend accessible à tous.

Une question bien souvent soulevée et controversée est celle qui consiste à savoir si un instrument à archet s'améliore avec l'âge et l'usage qu'on en fait. Il est incontestable que le travail d'un instrument doit avoir une influence favorable sur ses qualités sonores. Nous l'avons dit, ces qualités dépendent en grande partie de l'excellence du bois, lequel ne peut que s'améliorer sous l'action journalière des vibrations des cordes. Les molécules du bois, constamment sollicitées au mouvement, finissent par entrer en vibration sous la moindre impulsion : il en résulte une amélioration sensible dans la qualité du son.

Mais c'est une erreur grave que de croire qu'un mauvais instrument puisse s'améliorer par le temps. Plusieurs instruments anciens, faits à la même époque que ceux de Stradivarius et de Guarnerius, brillent par leurs mauvaises qualités et prouvent amplement qu'on a tort d'attribuer à l'âge la vertu de faire de bons instruments. Un mauvais violon, quoi qu'on fasse, restera toujours un mauvais violon, quelle que soit l'habileté

de l'instrumentiste, pour la raison bien simple qu'il est impossible de changer par l'usage les défauts qui existent dans ses proportions, et que c'est aux bonnes proportions surtout que sont dues les brillantes qualités de sonorité qui distingent les instruments des anciens luthiers. Certes, ces maîtres de la facture, il ne faut pas se faire d'illusion, n'avaient d'autre guide que le résultat de leur expérience et de leurs tâtonnements. La science acoustique, presque inconnue alors, ne pouvait leur prêter aucun aide, et ce n'est qu'aux soins qu'ils apportaient à la reproduction de leurs modèles que sont dus le grand nombre de précieux instruments qui nous restent et qu'on choisit encore aujourd'hui comme modèles à suivre.

L'analyse minutieuse de plusieurs des instruments de Stradivarius et de Guarnerius a prouvé — chose curieuse à constater — que les données suivies par ces anciens maîtres ne pourraient être améliorées aujourd'hui, mais que chacune de ces données a sa raison d'être parfaitement démontrée par leurs rapports avec les lois d'une science toute moderne.

Nous ne pouvons nous étendre sur les proportions nécessaires à la confection des instruments à archet; nous croyons cependant intéresser nos lecteurs en leur donnant l'aperçu suivant des travaux de Savart, que nous extrayons sommairement du rapport du jury présenté par Fétis lors de l'Exposition universelle de Paris en 1855.

« Les instruments de Stradivarius doivent leurs qualités : 1° au choix excellent du bois; 2° aux rapports de sonorité qui existent entre les dernières pièces qui les composent; 3° à la capacité de la caisse combinée avec l'épaisseur des tables, d'où résulte le son produit par la vibration de l'air sous l'action de l'archet qui ébranle l'appareil sonore, 4° enfin au travail exécuté avec la plus exacte précision, et au vernis dont les qualités essentielles sont de garantir le bois contre l'influence des variations hygrométriques de la température et de n'opposer aucun obstacle à l'élasticité, de laquelle dépend la liberté des vibrations.

Tous les bois rendent des sons et la différence de leur hauteur donne exactement la mesure de leur élasticité. Mersenne, en 1636, signalait ces rapports de sonorité, et il indiquait la percussion comme moyen de les déterminer.

Chladni a trouvé un meilleur moyen; il consiste à produire la mise en vibration par le frottement d'un archet sur les bords d'une verge convenablement dressée.

Des fragments pris dans divers instruments de Stradivarius, taillés dans les directions perpendiculaires et parallèles aux fibres du bois, d'une longueur de 20 centimètres, larges de 20 millimètres et d'une épaisseur de 5 millimètres. ont été mis en vibration, en présentant l'épaisseur à l'action de l'archet au milieu de la longueur. Sur la surface supérieure, on répandait du sable fin et sec; on tenait la verge d'un côté, avec le pouce et l'index, et on la soutenait horizontalement au dessous avec le petit doigt. Dans cette position, l'archet agissant, le sable se séparait en deux lignes parallèles sur les côtés de la verge; d'où la preuve que la verge était entrée en vibrations régulières.

Voici les résultats obtenus :

1° Une verge d'érable bien ondé, d'un Stradivarius fait en 1717, a produit le *la dièse*$_5$;

2° Une autre verge d'érable uni d'un instrument du même maître, en 1708, a donné la même note;

3° Une verge de sapin, même maître, 1724, a donné un *fa*$_4$;

4° Une autre, même maître, 1690, même note.

5° Verge de sapin, même résultat, même maître, 1730.

Des résultats si identiques obtenus sur des fragments appartenant à des époques si éloignées l'une de l'autre prouvent que Stradivarius devait essayer son bois par des moyens semblables ou équivalents; car l'œil, quelque exercé qu'il fût, n'aurait pu lui faire juger à l'avance de la sonorité. Des bois de même apparence donnent des résultats différents d'une tierce, d'une quarte et même plus.

Voyons maintenant ce que la théorie a tiré d'instruction posi-

tive des faits précédemment exposés et comment on en conclut avec certitude que les qualités premières des instruments de Stradivarius ont été obtenues en vertu des lois de cette théorie et non par l'effet du temps et de l'usage, qui ne peuvent faire sortir la perfection d'une chose médiocre.

On sait que la table d'harmonie qui supporte les cordes et le chevalet est en sapin ; que le fond de l'instrument est en érable. Le sapin est préférable pour la table à cause de sa faible densité et surtout de son élasticité. Sa résistance à la flexion est plus grande, non-seulement que tout autre bois, mais encore que beaucoup de corps métalliques. Elle est égale à celle du verre, de l'acier même, sur lesquels elle a l'avantage d'une grande légèreté. Le son se propage avec autant de rapidité dans le sapin que dans les autres substances nommées, ce que l'on constate en faisant vibrer longitudinalement ou transversalement des verges de verre, d'acier, de sapin, ayant les mêmes dimensions. L'intonation sera la même, ce qui n'arriverait pas avec une verge de tout autre bois que le sapin. Ainsi la vitesse du son est aussi grande dans le sapin que dans le verre ou l'acier, et de plus, le sapin offre l'avantage considérable de présenter une grande surface, résistant à la flexion même avec peu d'épaisseur, et d'avoir le plus d'élasticité possible.

L'érable est préférable pour le fond. Les maîtres n'ont pas employé d'autre bois. Dans le sapin, la vitesse du son est de 15 à 16 fois plus rapide que dans l'air, et dans l'érable de 10 à 12 fois seulement. De deux verges de même grandeur, l'une en sapin l'autre en érable, la première aura le son plus élevé. La table et le fond étant de mêmes dimensions ne produiront donc pas une intonation identique. Cette donnée est importante. Dans quel rapport doivent être les deux tables avant leur réunion? On n'a pu le déterminer qu'après des expériences réitérées, faites soigneusement.

Un violon, construit avec la table et le fond en sapin et vibrant à l'unisson, a donné pour résultat un son faible et sourd.

Un violon avec la table en sapin et le fond en érable, vibrant à l'unisson, a donné un son mauvais et faible.

L'érable n'étant pas doué au même degré que le sapin de la vitesse de propagation des ondes sonores, on avait dû lui donner trop d'épaisseur. — Il est donc nécessaire que la table et le fond ne soient pas à l'unisson; de plus, leur rapport doit être assez éloigné pour empêcher les battements de deux sons se rapprochant de l'unisson. Le rapport nécessaire a été déterminé par des expériences faites par MM. Savart et Vuillaume, sur des instruments de Stradivarius et de Guarnerius. — On a serré les tables dans une pièce en bois au point où se croisent deux lignes nodales, l'une transversale, l'autre longitudinale, correspondantes aux deux sens d'élasticité du sapin et de l'érable. La mise en vibration par l'archet a produit des lignes longitudinales et transversales, qui prouvent que les deux sens d'élasticité sont en jeu et que le système nodal est le même sur les deux tables : dans ces conditions on a trouvé un ton de différence.

Pour des expériences contradictoires, on a construit des tables dans d'autres rapports : près de l'unisson on avait des battements; au delà de l'intervalle d'un ton, les deux tables ne vibraient plus conjointement d'une manière normale.

Il n'est pas à croire que le hasard produise le même résultat dans les instruments de Stradivarius et de Guarnerius, ce dernier étant élève du premier, mais qu'ils ont eu des procédés pour déterminer le même rapport. Le hasard ne peut jamais répéter plusieurs fois et régulièrement la même chose

L'intensité des sons rendus par un violon dépend de la masse d'air qu'il renferme et qui doit être dans un certain rapport avec les autres éléments.

On a prouvé par des recherches que si la masse d'air d'un violon est trop grande, les sons graves sont faibles et sourds, les sons aigus, criards et maigres; si la masse d'air est trop petite, les sons graves ont de l'aigreur et la chanterelle perd de son éclat.

En analysant les instruments de Stradivarius, on a trouvé que la masse d'air produisait un son correspondant à 512 vibrations par seconde, qui devait être l'*ut* du temps de Stradivarius; mais en 1838, du temps de Savart, ce son correspondait au *si bécarre* et aujourd'hui au *si bémol* (*).

Tous les Stradivarius et les Guarnerius ont donné le même résultat.

Les *ff* de la table ont une importance sur la masse d'air contenue; quand on colle du papier sur une des *ff*, le son baisse. Il en résulte que si l'on bouche les *ff*, le son de la masse d'air est abaissé, et les défauts signalés plus haut se manifestent; si les *ff* sont trop grandes, la masse d'air hausse et la sonorité de l'instrument s'altère notablement.

L'harmonie des proportions est de toute nécessité. Avec une table mince la sonorité est faible; si la table est trop grosse, les sons ont une émission raide et pénible; une table trop bombée, des voûtes ayant trop d'élévation, détruisent l'équilibre de la masse d'air, et le son devient lourd et nasal.

La hauteur des éclisses est d'une énorme importance; en donnant au violoncelle des dimensions proportionnelles à celles du violon, elles deviendraient incommodes. Stradivarius a donné à ses violoncelles des tables dont la longueur est seulement de 26 à 27 pouces et une largeur de 15 à 16 au plus; mais il a trouvé dans la hauteur des éclisses une compensation nécessaire pour la masse d'air en leur donnant 4 pouces au lieu de 3, qui auraient été la proportion exacte si les tables eussent été plus grandes.

La barre collée sous la table du violon à gauche du chevalet est trop faible aujourd'hui dans les anciens instruments, non pas que ces maitres se soient trompés, mais Tartini a prouvé, en 1734, que la charge des quatre cordes égalait 63 livres.

(*) M. Fétis faisait erreur. Jamais le diapason n'a atteint 512 vibrations pour un si_b. En Belgique, où il est le plus élevé, nous avons un la_3 de 916 vibrations, ce qui nous donne un *si becarre*$_2$ de 513,6.

Ses cordes étaient plus minces qu'aujourd'hui et le chevalet moins élevé, de sorte que l'angle formé par les cordes était moins considérable. Il y a vingt ans, il fallait 22 livres pour obtenir l'intonation de la chanterelle et un peu moins pour les autres cordes ; le poids était donc de 80 livres environ.

Depuis, le diapason a encore monté, et de là la nécessité de rebarrer tous les anciens instruments. Le bois préféré pour la barre est celui dont la sonorité, dans des dimensions données, est la plus aiguë sous l'action de l'archet, parce que dans ces conditions les vibrations sont plus libres et plus promptes. Il en est de même à l'égard du bois de chevalet. Savart a prouvé que toutes les découpures du chevalet étaient nécessaires. »

Les instruments dont la construction est basée sur les vibrations des cordes comprennent trois catégories qui s'établissent d'après les différents modes de production de son. On distingue les instruments à cordes frappées ; à cordes pincées ; et à cordes frottées.

1er *catégorie :* L'instrument le plus important de cette catégorie est le *piano*. Cet instrument est trop connu pour qu'il soit nécessaire de le décrire. On sait que les cordes sont frappées par un marteau garni de feutre, qu'elles s'appuient sur des chevalets au moyen desquels elles transmettent leur vibration à une table d'harmonie, laquelle entraîne à son tour par son ébranlement la masse d'air adhérente à sa surface.

Les pianos modernes ont une très-grande étendue.

Quelques-uns vont du la_{-2} au la_6 et embrassent conséquemment 7 octaves complètes.

2me *catégorie :* Le seul instrument de cette catégorie employé à l'orchestre est la *harpe*. Les vibrations des cordes sont renforcées par une caisse convexe en bois d'érable recouverte d'une feuille de sapin à laquelle sont attachées les cordes. Tels sont les organes sonores, la forme de l'instrument est connue de tous les musiciens. La harpe à double mouvement,

inventée par Sébastien Erard au commencement de ce siècle, est presque la seule en usage aujourd'hui.

Cet instrument est monté de 46 cordes accordées diatoniquement en *ut bémol*. La corde la plus grave est l'*ut bémol*$_{-1}$, la plus haute est le *fa bémol*$_6$. Les intervalles chromatiques s'obtiennent au moyen de sept pédales pourvues d'un mécanisme double permettant, par le raccourcissement qu'il produit, de hausser la corde d'un demi ton, ou d'un ton à volonté. La corde d'*ut bémol*, par exemple, peut devenir au gré de l'exécutant un *ut bécarre* et un *ut dièse*, et cet effet se produit dans toutes les octaves. Ces pédales sont mises en mouvement par le pied droit.

3me *catégorie :* Elle contient les instruments principaux de l'orchestre : le violon, l'alto, le violoncelle et la contrebasse.

Le *violon* est un instrument monté de 4 cordes accordées par quintes.

la première corde ou chanterelle	est un	*mi*$_4$
la deuxième »	est un	*la*$_3$
la troisième »	est un	*ré*$_3$
la quatrième »	est un	*sol*$_2$

Les trois premières de ces cordes sont en boyau, la quatrième est en boyau entouré de fil de laiton ou d'argent.

Voici, d'après M. Durutte, deux montures de cordes de violon calculées selon les formules que nous avons fait connaître :

Monture faible (*longueur de corde* 0^m,327, *tension* 7 *kil. environ*).

mi.	0^{mm},6	diamètre (en millimètres)	pesant	0^g,128
la.	0^{mm},9	» »	»	0^g,288
ré.	1^{mm},35	»	»	0^g,648
sol corde à boyau	0^{mm},9	»	»	1^g,458
sol fil de laiton	0^{mm},15	»	»	1^g,458

Monture plus forte (même longueur de corde avec une tension de 8 kil. environ).

mi	0mm,65	de diamètre,	pesant	0g,150
la	0mm,975	»	»	0g,3375
ré	1mm,4625	»	»	0g,7594
sol { corde à boyau	0mm,975	»	»	1g,6986
sol { fil de laiton	0mm,16			

L'*alto* est un instrument un peu plus grand que le violon. Il est également monté de quatre cordes accordées à la quinte l'une de l'autre,

la première	ou chanterelle	est un	la_3
la deuxième	»	»	$ré_3$
la troisième	»	»	sol_2
la quatrième	»	»	ut_2

Les deux premières sont en boyau, les deux autres sont de même matière mais entourée de fil de laiton ou d'argent.

Voici, d'après l'auteur cité précédemment, une monture d'alto.

Longueur des cordes 0m,343, *tension de* 6 *kil. environ.*

la	0mm,8	diamètre,	pesant	0g,235
ré	1mm,2	»	»	0g,529
sol { corde à boyau	0mm,8	»	»	1g,19
sol { fil de laiton .	0mm,13			
ut { corde à boyau.	1mm,2	»	»	2g,677
ut { fil de laiton .	0mm,185			

Le *violoncelle* est un instrument exactement à l'octave inférieure de l'alto. De même que les précédents, il possède quatre cordes accordées par quintes.

la première	ou chanterelle	est un	la_2
la deuxième	»	»	$ré_2$
la troisième	»	»	sol_1
la quatrième	»	»	ut_1

Les deux premières cordes sont en boyau, les deux autres sont de même matière entourée de fil de laiton.

M. Durutte donne également une monture de violoncelle calculée exactement.

Longueur des cordes $0^m,70$ *sous une tension de* 11 *à* 12 *kil.*

la	$1^{mm},1$	diamètre	pesant	$0^g,890$
ré	$1^{mm},65$	»	»	$2^g,002$
sol corde à boyau.	$1^{mm},1$	»	»	$4^g,502$
sol fil de laiton .	$0^{mm},17$			
ut corde à boyau.	$1^{mm},65$	»	»	$10^g,129$
ut fil de laiton .	$0^{mm},26$			

La *contre-basse* est un instrument monté de quatre cordes. Quelquefois cependant on ne lui en donne que trois.

Lorsque l'instrument en possède quatre, il s'accorde généralement par quartes.

la première corde est un sol_1
la deuxième » » $ré_1$
la troisième » » $la\__1$
la quatrième » » $mi\__1$

Les quatre cordes sont en boyau, les deux dernières sont recouvertes de fil de laiton.

La contre-basse à 3 cordes s'accorde généralement par quintes.

la première corde est un la_1
la deuxième » » $ré_1$
la troisième » » $sol\__1$

Les trois cordes sont en boyau, la troisième seule est recouverte de fil de laiton.

Il est à remarquer qu'il est d'habitude d'écrire les parties de contre-basse à l'octave supérieure de l'effet réel.

Les notes intermédiaires entre les cordes s'obtiennent sur les instruments de cette catégorie par des raccourcissements produits par la pression des doigts de la main gauche contre la touche disposée à cet effet sous les cordes. Ces raccourcis-

sements se font en vertu d'une loi énoncée précédemment : le nombre des vibrations est en raison inverse de la longueur de la corde.

Il ne faut pas confondre les sons qui résultent de ces raccourcissements et les sons harmoniques obtenus en effleurant légèrement la corde aux points de division $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ etc.

Nous croyons nous être assez longuement expliqué sur le phénomène des harmoniques au commencement de ce chapitre, pour pouvoir nous dispenser d'y revenir.

On obtient un effet de sonorité particulier sur les instruments à cordes par l'emploi de la sourdine, petit appareil construit le plus souvent en bois et qui a pour but, en serrant le chevalet, d'intercepter une partie des vibrations que celui-ci transmet à la table.

CHAPITRE III.

VIBRATIONS DES COLONNES D'AIR.

Une erreur généralement répandue est celle qui consiste à croire que la matière dont on fait les tuyaux exerce une grande influence sur la qualité du timbre de l'instrument. Cette erreur est partagée par presque tous les artistes qui jouent d'un instrument à vent. Questionnez un clarinettiste sur le bois à employer pour la construction d'une clarinette, il vous répondra infailliblement que le bois de buis est celui qui réunit les meilleurs conditions de sonorité ; — la même opinion se rencontre chez les artistes jouant du hautbois. — Celui qui joue d'un instrument de cuivre, vous dira que plus les parois sont minces, plus le son se produit avec facilité, parce que la matière entre plus aisément en vibration. Le bassonniste est persuadé que toute la vibration de son instrument existe dans la qualité de la matière dont le bocal est fait; aussi, pour lui, un bocal en cuivre est-il mille fois meilleur qu'un bocal en argent de Berlin. L'opinion des flûtistes est partagée entre les qualités du bois et celles du métal. Ceux pour qui le bois est la matière préférée vous diront que les flûtes en argent sont trop criardes, que celles en bois ont le son beaucoup plus doux ; les adversaires vous assurent qu'une flûte en bois a le son *cotonneux*, tandis que celle en argent a le timbre pur et *argen-*

tin. Nous n'en finirions pas s'il fallait énumérer ici tous ces préjugés enfantés par l'imagination des artistes et par leur indifférence pour tout ce qui pourrait déranger une idée préconçue. Des expériences concluantes, faites dans ces derniers temps, n'ont pu déraciner ces erreurs; aussi est-il à craindre que de longues années se passeront encore avant que la vérité soit admise.

Qui ne connaît le son éclatant de la trompette de cavalerie ? Il semblerait que si le même éclat était produit par un instrument totalement construit en bois, l'erreur dont nous regrettons l'existence disparaîtrait à jamais. Il n'en est rien.

Pendant plus de dix ans, nous avons eu l'occasion de faire entendre presque tous les jours, devant un nombre considérable d'artistes, un instrument en bois construit par M. C. Mahillon pour démontrer l'absurdité d'une idée dont il fut l'un des premiers adversaires. Cet instrument possédant les proportions exactes de la trompette de cavalerie, donne exactement le même éclat que l'instrument en cuivre, au point qu'il serait impossible de les distinguer l'un de l'autre.

Eh bien, le croirait-on, nous avons surpris beaucoup de monde, mais nous n'avons convaincu personne! Tout en touchant la vérité du doigt, beaucoup d'artistes n'ont pas voulu en croire leurs oreilles. On consent difficilement à renoncer en un instant à une opinion faite et professée depuis de longues années; à s'avouer que ses expériences, ses études, ses essais, ses rêves ont fait fausse route! Aussi avec quelle froideur et quelle indifférence n'accueille-t-on, pas de parti pris, toute innovation faite dans le domaine de la science!

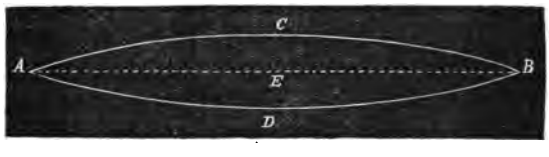
Que de peines pourtant les professeurs épargneraient à leurs élèves si, s'inspirant eux-mêmes de ce que la science révèle, ils se contentaient d'enseigner les principes de leur instrument avec la base vraie de sa construction, en abandonnant ces mille préjugés qui passent aujourd'hui du maître à l'élève, enrayent ses études, absorbent presque la moitié d'un temps précieux si nécessaire à son instruction, et finalement, forment

une barrière pour ainsi dire infranchissable à tout progrès sérieux.

Les seules raisons de la différence du timbre des instruments à vent résident : 1° dans la proportion des tuyaux, conséquemment dans la forme du corps vibrant qui n'est autre que l'*air*, et 2° dans la manière dont l'air est ébranlé dans le tuyau. Sous ce rapport, on distingue deux sortes de tuyaux : 1° les tuyaux à anche, dont la colonne d'air entre en vibration sous l'influence d'une anche quelconque ; 2° les tuyaux à bouche appelés aussi tuyaux de flûte dans lesquels les vibrations de la colonne vibrante sont produites par l'action d'une lame d'air se brisant contre l'angle d'une paroi fixe.

Avant de passer à l'examen de ces deux sortes de tuyaux, — ce qui nous amènera à la théorie de la construction des instruments à vent, — il est nécessaire que nous fassions un nouvel emprunt à la science.

Rappelons-nous qu'une vibration simple est le mouvement d'aller *ou* de retour de la molécule vibrante ; que la vibration double ou entière comprend un aller *et* un retour ; que les vibrations sont isochrones, c'est-à-dire que chacune d'elles, dans un son dont leur nombre détermine la hauteur, a exactement la même durée, et qu'elles vont progressivement en décroissant d'amplitude. Ainsi, reprenant la figure de la corde,



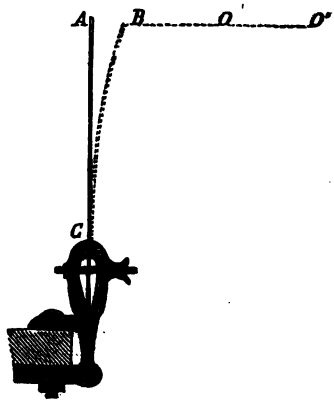
A E B est la position d'équilibre; en faisant vibrer la corde, c'est-à-dire en l'écartant de cette position, le point E allant vers C *ou* vers D, nous montre le mouvement d'une vibration simple; revenu en E, la corde a accompli une vibration double

ou complète, puisqu'elle comprend un aller et un retour. Mais la corde ébranlée ne retourne pas immédiatement dans sa position d'équilibre, elle la dépasse en exécutant, de l'autre côté, une vibration *égale en durée, mais moindre d'amplitude*, revient de nouveau sur elle-même dans des conditions identiques, jusqu'à ce qu'enfin, après un nombre plus ou moins grand d'oscillations, elle retourne au repos complet.

Nous avons vu qu'on appelle *onde simple*, l'espace parcouru par le son pendant une vibration simple du corps qui le produit ; *onde double* ou *complète*, l'espace parcouru pendant une vibration complète.

Les ondes sont, nous l'avons déjà dit, alternativement condensées ou dilatées; l'ensemble d'une onde condensée et d'une onde dilatée forme une onde sonore complète.

Supposons une tige de métal quelconque en vibration : la position d'équilibre est AC. En accomplissant son mouvement



vers B, la tige fait une vibration simple ; si, pendant le temps que dure cette vibration, le son a parcouru la distance AO, celle-ci est la longueur d'onde simple et cette onde est condensée, parce que, par l'action du corps vibrant, l'air est com-

primé sur toute la longueur de l'onde AO. A l'arrivée en O, une nouvelle onde se forme sous l'impulsion de la première, et mesurant exactement la même longueur ; nous la désignons par O,O'.

Mais, lorsque l'onde, résultat d'*une* vibration simple, est arrivée en O, la tige retourne à sa position d'équilibre, et il se produit derrière la tige un vide qui dilate l'air sur une longueur égale à OA : c'est l'onde dilatée. Conséquemment, lorsque la première onde est arrivée en O, il se forme une onde condensée de O vers O', en vertu des lois de la propagation du son. En même temps, par le recul du corps vibrant vers sa position d'équilibre, il se forme une onde dilatée de O vers A. Le mouvement des ondes est donc naturellement contraire de chaque côté du point O ; les ondes contraires s'écartent ou se rapprochent à la fois, à droite et à gauche du point O, et ces mouvements vibratoires ont lieu avec des vitesses variables, c'est-à-dire qu'elles augmentent progressivement jusqu'au milieu de leur course, pour décroître ensuite jusqu'au point d'arrivée. Il en résulte des différences de vitesse et de densité proportionnelles dans la longueur de l'onde. Les points où les ondes animées de vitesses contraires se rencontrent, sont appelés *nœuds de vibration*. Dans l'exemple qui précède le point O est un nœud. La vitesse de l'air y est nulle, mais la densité y subit des variations continuelles. Au milieu de l'onde, au contraire, le mouvement vibratoire est le plus grand, mais il n'y a pas de changement de densité ; c'est le ventre de vibration. Dans l'exemple que nous venons de voir, A et O' sont des ventres de vibrations.

Ainsi, un tuyau vibrant avec deux nœuds nous donne la figure :

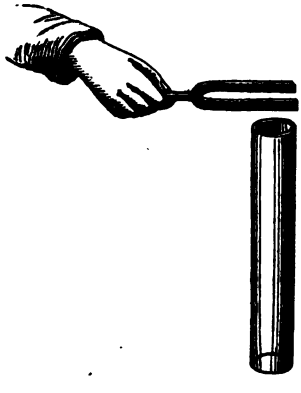
La lettre V indique les ventres de vibration, la lettre N la

place des nœuds, les flèches démontrent le mouvement contraire dont est animé l'air en vibration. Remarquons que la distance d'un ventre à un autre est la même que d'un nœud à un autre ; conséquemment *l'onde simple est égale à la double distance qu'il y a entre un nœud et un ventre.*

La longueur d'un tuyau est égale à celle de l'onde simple.

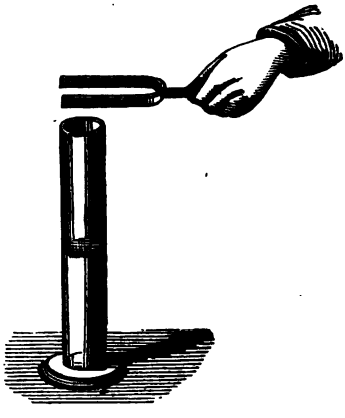
Les tuyaux sont de deux espèces : ouverts aux deux extrémités, ils s'appellent *tuyaux ouverts ;* ouverts à une extrémité et fermés à l'autre ils se nomment *tuyaux fermés* ou *bouchés*, et quelquefois aussi, dans la facture d'orgue, *bourdons.*

Prenons un tuyau quelconque ouvert aux deux bouts. Rapprochons de l'orifice supérieur un diapason normal en vibration ; le diapason résonnera avec une intensité ordinaire, parce que le tuyau, n'étant pas accordé pour renforcer ce son, n'aura aucune influence sur lui ; mais, donnons au tuyau une longueur de 39 centimètres, qui est celle de l'onde produite par un son de



870 vibrations, rapprochons le diapason, il vibrera avec une sonorité remarquable parce que l'air renfermé dans le tuyau se mettra de la partie, et c'est l'ensemble de ces vibrations qui produira le renforcement que nous constatons.

Bouchons maintenant ce tuyau à la partie inférieure, et rapprochons le diapason de l'ouverture supérieure : nous n'avons aucun renforcement de son. Versons de l'eau dans le tuyau, en ayant soin de ne le remplir que progressivement : au fur et à mesure que l'eau montera, le son augmentera d'intensité, pour arriver à son maximum alors que l'eau aura atteint exactement la moitié de la hauteur du tuyau.

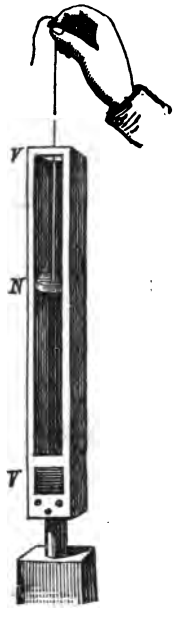


Ces deux expériences nous donnent exactement l'idée d'un tuyau ouvert et d'un tuyau fermé. Elles prouvent que le tuyau ouvert, pour donner ou renforcer un certain son, doit avoir exactement le double de la longueur d'un tuyau fermé.

Il nous reste à expliquer d'où provient ce phénomène : rien de plus simple. Prenons un tuyau d'orgue rectangulaire, dont une des parois est en verre, et mettons-le, pour le faire parler, sur le sommier d'une soufflerie.

Introduisons dans le tuyau un petit cerceau sur lequel est tendu une membrane très mince que nous couvrirons d'un peu de sable. Au moyen d'un fil, il nous sera facile de placer la membrane à différentes hauteurs dans le tuyau et de constater

que le sable n'y reste en repos qu'au centre ; qu'au contraire, il est vivement agité à l'orifice supérieur et au fond. Nous pouvons en conclure que les vibrations de l'air dans les tuyaux sont longitudinales, que le milieu du tuyau est un nœud de vibra-



tion où l'air ne vibre pas et laisse conséquemment le sable en repos, tandis que les deux extrémités sont des ventres où l'air est si agité qu'il oblige le sable à prendre part à son mouvement.

Maintenant, si nous disposons le tuyau de façon à pouvoir le partager en deux parties égales, au moyen d'une glissière, là où le nœud se trouve, la hauteur du son ne subira aucun changement ; nous aurons un tuyau fermé dont la longueur est exactement la moitié de celle du tuyau ouvert.

De ce qui précède, il résulte que le tuyau ouvert donne le son le plus grave qu'il puisse émettre, lorsqu'il a un nœud à son centre et un ventre à chaque extrémité ouverte; tandis que le tuyau fermé, donnant le même son, a un nœud contre la paroi du fond et un ventre à l'extrémité ouverte.

La longueur d'un tuyau étant égale à celle de l'onde simple et celle-ci à la double distance entre un nœud et un ventre, il est évident que s'il est fermé, le tuyau sera à l'octave grave du son produit par le tuyau ouvert, puisque la longueur d'onde est double, pour le tuyau fermé, ainsi que nous allons le démontrer.

Prenons deux tuyaux de même longueur, 1 et 2.

1 2

Dans 1, qui est fermé, l'onde est égale à 2 fois V N (distance entre le nœud et le ventre). Dans 2 qui est un tuyau ouvert, l'onde est aussi égale à 2 fois V N; mais comme cette distance est la moitié de celle du tuyau 1, la longueur d'onde de 1 sera le double de celle produite par le tuyau 2, et le son de 1 sera à l'octave inférieure de celui du tuyau 2.

On attribue à la réflexion des ondes sonores sur le fond, par laquelle celles-ci parcourent deux fois la longueur du tuyau,

cette particularité que les tuyaux fermés n'exigent que la moitié de la longueur de ceux qui sont ouverts pour produire un son de même hauteur.

Le nombre des vibrations est inversement proportionnel à la longueur des tuyaux, et, ceux-ci peuvent, par une augmentation progressive de la pression de l'air, se subdiviser, comme les cordes, en parties aliquotes vibrant à l'unisson et donnant lieu à la production des harmoniques. Mais une différence très-importante existe, sous ce dernier rapport, entre les tuyaux ouverts et les tuyaux fermés.

Nous avons vu que le tuyau ouvert, lorsqu'il donne le son le plus grave, a un ventre à chaque extrémité ouverte et un nœud au milieu. Le son qu'il donne, en vibrant dans ces conditions, est le son fondamental. On le désigne par le chiffre 1.

Il ne faut pas perdre de vue que la longueur d'un tuyau, se détermine par la longueur du tuyau donnant le son fon-

damental. Ainsi, pour connaître la longueur d'un tuyau ouvert donnant le *la normal* de 870 vibrations, nous savons qu'il faut commencer par calculer la longueur de l'onde. Dans le cas présent, elle est de $\frac{340}{870} = 0^m,390$. L'onde étant la double distance d'un nœud à un ventre, et cette double distance existant dans la longueur du tuyau ouvert, nous pouvons dire que ce tuyau est égal à la longueur de l'onde simple ; donc un tuyau ouvert de 390 millimètres donnera le *la normal* comme son fondamental (*).

Mais, continuons à nous rendre compte de la formation des harmoniques dans les tuyaux ouverts.

Si nous augmentons la pression de l'air en soufflant plus

fort dans le tuyau qui nous a donné le son 1, ce tuyau se

(*) Nous pouvons nous rendre compte ici, par un exemple frappant, de l'influence de la température sur la longueur du tuyau :

Puisque la longueur de l'onde est égale à la vitesse du son divisée par le nom-

partagera en quatre parties égales. Nous avons toujours les deux ventres aux extrémités ouvertes, mais il se forme deux nœuds et un ventre intermédiaires. Le cas est représenté par la figure qui précède (page 73).

Les longueurs d'onde étant réduites de moitié, le nombre de vibrations est double, et le son saute à l'octave. Il se désigne par le chiffre 2. Si nous augmentons encore la pression de l'air, le tuyau se partage en six parties égales. Les ventres aux extrémités subsistent toujours, mais nous avons trois nœuds et deux ventres intermédiaires, comme le montre la figure qui suit :

bre de vibrations et que l'onde simple est égale à la longueur du tuyau ouvert, nous aurons pour un *la*$_3$ de 870 vibrations à une température de 0° une longueur de tuyau de $\frac{327}{870} = 0^m,375$ c'est-à-dire qu'a 0° il faut pour produire un *la*$_3$ normal un tuyau 15 millimètres plus court que celui qui donnera le même son à la température moyenne.

La longueur d'onde est réduite du tiers, le nombre de vibrations est triple et le son saute à la quinte du précédent. Il se chiffre par 3.

On peut poursuivre ainsi indéfiniment et obtenir toute la série des harmoniques 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 et suivants. Dans quelques instruments à vent, le cor par exemple, on peut produire juqu'au 16e harmonique et même plus.

Les tuyaux fermés ont toujours un nœud au fond et un ventre à l'extrémité ouverte opposée. Avec un seul nœud et un seul ventre, nous avons le son fondamental représenté par le chiffre 1. Les explications que nous venons de donner, nous permettent de dire que, pour le calcul de la longueur de ce tuyau, il suffit de prendre celle de la demi-onde simple du son que l'on veut produire. Ainsi la longueur d'un tuyau fermé produisant le *la normal* doit être de $\frac{0^m,390}{2} = 0^m,195$.

Soufflons dans le tuyau fermé, comme nous venons de le faire dans le tuyau ouvert, en forçant la pression de l'air; au lieu

de sauter à l'octave, le son donnera la quinte de cette dernière. Voici pourquoi :

Quand nous avons donné le son fondamental, la colonne d'air était représentée par la figure ci-dessus, page 75.

L'obligation d'avoir toujours un nœud au fond et un ventre à l'extrémité ouverte, ne permet pas de partage plus simple que celui que nous donnons ici :

Les ondes sont devenues trois fois plus petites ; nous avons un nombre de vibrations triple et non double, et conséquemment nous sautons au son 3, lequel est représenté dans la série des harmoniques par la douzième du son fondamental.

Augmentons encore la pression, malgré tous nos efforts, nous n'obtiendrons que le son 5 (tierce majeure de la double octave du son fondamental).

En effet, ce tuyau ne peut se partager autrement que

l'indique la figure suivante; vu l'obligation d'avoir un nœud au fond, un ventre à l'extrémité ouverte :

La longueur d'onde étant réduite au cinquième, le nombre de vibrations est quintuple, et conséquemment le son doit être celui qu'indique le chiffre 5 de la série des harmoniques.

D'après ce qui précède, nous voyons qu'un tuyau ouvert permet de donner toute cette série, absolument comme une corde, tandis que les tuyaux fermés ne peuvent renforcer que les harmoniques impairs c'est-à-dire les sons 1, 3, 5, 7, etc.

Dans la supposition que nous eussions pris, pour faire ces expériences, un tuyau d'orgue, il est utile de faire remarquer que, quelle que soit la façon dont l'air du tuyau est ébranlé, la production des harmoniques procéderait toujours de la même loi.

La facilité d'émettre les harmoniques élevés dépend de la longueur du tuyau. Plus celui-ci est long, plus on le partage

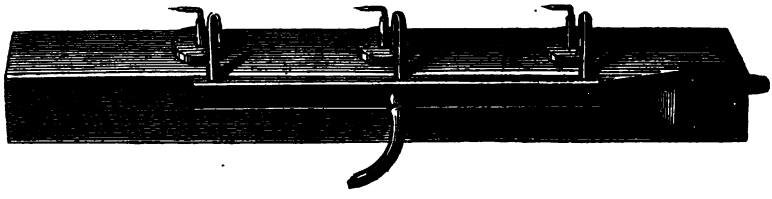
aisément; mais, quelquefois aussi, il devient difficile de le faire vibrer dans l'état le plus simple qu'exige la production du son fondamental. Il arrive encore que, lorsqu'on dépasse certaines limites, les pressions d'air nécessaires sont d'une si faible différence, que la certitude se perd et qu'on produit l'un harmonique pour l'autre. Les cornistes en savent quelque chose: la production des harmoniques, appartenant à l'octave aiguë, est souvent très incertaine pour eux.

M. R. Kœnig, l'éminent constructeur d'instruments d'acoustique, à Paris, a imaginé un appareil très-ingénieux pour rendre visible l'état vibratoire des colonnes d'air. Nous empruntons la description de ce procédé au Catalogue des appareils construits par cet habile acousticien, nous sommes persuadé qu'elle intéressera nos lecteurs.

« De même que la méthode optique permet l'observation et la comparaison des corps solides, on arrive à rendre visible l'état vibratoire des masses et colonnes d'air, par la méthode des flammes manométriques. Le petit appareil qui sert à ce but consiste dans une petite capsule fermée d'un côté par une membrane très-mince en caoutchouc et dont le fond est percé de deux trous. Un de ces trous sert à introduire dans la capsule du gaz d'éclairage, qui s'échappe par un petit bec fixe dans l'autre ouverture, sur lequel on l'allume. Il est clair que cette flamme sera brusquement allongée quand la membrane sera poussée dans l'intérieur de la capsule, et qu'elle s'abaissera quand la membrane exécutera un mouvement contraire.

» Dans la paroi latérale du tuyau sont percées trois ouvertures aux endroits qui correspondent au nœud du son fondamental et aux deux nœuds de son octave; sur ces ouvertures sont appliquées trois capsules disposées comme on vient de le lire; de sorte que les trois membranes ferment exactement les trous. Si maintenant on fait parler le tuyau et qu'il donne le son fondamental, les trois flammes entrent en vibration, mais celle du milieu beaucoup plus vivement que les deux autres, parce qu'elle se trouve sur le nœud de vibration, tandis

que les deux autres sont placées entre le nœud et les ventres de vibration. Si, au contraire, on produit l'octave supérieure en soufflant plus fort, les deux flammes latérales prennent un mouvement très vif, tandis que la flamme du milieu reste tranquille, à cause de sa position sur un ventre de vibration



où l'air ne fait que se déplacer longitudinalement, sans changer de densité. Si l'expérience est faite avec des flammes très petites, les flammes dont l'agitation est la plus violente, c'est-à-dire celle du milieu pour le son fondamental, et les deux autres pour l'octave, s'éteignent tout à fait. »

La même expérience peut servir à constater l'état de la colonne d'air vibrant dans un tuyau fermé. Seulement, dans ce cas, on place les capsules l'une sur le bout fermé du tuyau, l'autre sur le ventre contre la bouche du tuyau, et la troisième sur l'emplacement du deuxième nœud du son 3, premièr harmonique d'un tuyau fermé.

Lorsqu'un tuyau ouvert donne le son fondamental, il suffit de pratiquer une petite ouverture au milieu, à la place du nœud, pour que le tuyau saute immédiatement à l'octave.

L'ouverture, mettant cette partie du tuyau en communication avec l'air extérieur, ne permet pas les variations de densité nécessaires à la formation du nœud et occasionne conséquemment la formation d'un ventre. Nous avons alors le partage de la colonne d'air en quatre parties et la production de l'octave ou son 2. En maintenant l'ouverture et en soufflant plus fortement, nous ne pourrions obtenir que les harmoniques

pairs parce que c'est la formation seule de ces derniers qui permet la présence d'un ventre au milieu du tuyau (voir fig. 1).

Figure 1.

Figure 2.

Reprenons notre son fondamental en fermant l'ouverture, et pratiquons-en une nouvelle au tiers de la longueur de notre tuyau. Le son sautera à la quinte octaviée, nous aurons le le son 3. En effet, l'ouverture au tiers provoque la formation d'un ventre à cet endroit, et conséquemment il n'y a pas de formation plus simple possible que celle indiquée fig. 2.

Bouchons l'ouverture, mais soufflons avec assez de force pour obtenir le son 3; dans cet état vibratoire, il nous sera possible d'ouvrir ou de fermer l'ouverture sans faire changer le son. Cette dernière expérience prouve que l'on peut, dans les précédentes conditions, fermer un tuyau à l'endroit des nœuds ou l'ouvrir là où il y a un ventre, sans que le son change.

Les mêmes phénomènes existent dans les tuyaux fermés :

pour produire les sons 3, 5, il suffit de pratiquer une petite ouverture au premier tiers (voir fig. ci-dessus) ou au premier cinquième (voir fig. ci-dessous) de la longueur du tuyau, à partir du fond.

Les tuyaux ouverts ou fermés se divisent en deux grandes classes : les tuyaux à anche et les tuyaux à bouche. Cette division repose sur la différence de l'ébranlement des colonnes d'air. Nous ne pourrions mieux étudier l'une et l'autre de ces classifications, qu'en passant en revue quelques-uns des principaux instruments de musique dont la construction est basée sur les principes de ces différences.

TUYAUX A ANCHE.

L'anche est une languette de métal ou de bois, dont la fonction est de briser en battements réguliers un courant d'air qui, sans cet intermédiaire, échapperait en souffle continu. Chaque battement de l'anche produit l'une des vibrations d'un son, d'autant plus élevé que la vitesse de vibration de l'anche est plus grande.

Les anches peuvent vibrer seules ou associées à des tuyaux. Dans l'un et l'autre cas, ce ne sont pas les vibrations de l'anche même que nous entendons, mais bien les vibrations de l'air engendrées par le mouvement de l'anche. L'accordéon et l'harmonium nous donnent des exemples d'instruments de musique où l'anche est employée sans l'adjonction d'un tuyau.

Lorsque l'anche a pour but de faire vibrer une colonne d'air, il faut, si l'anche est de métal, que la colonne d'air soit réglée de telle sorte que sa longueur corresponde exactement à la vitesse des vibrations de l'anche.

Le tuyau est considéré comme corps renforçant de l'anche.

Si le son fondamental ou l'un des harmoniques du tuyau n'est pas d'accord avec le son de l'anche, cette dernière résonne seule, et l'addition du tuyau reste sans effet. Si le tuyau est d'une longueur suffisante pour que l'un de ses harmoniques

soit à l'unisson de l'anche, le renforcement a lieu, parce que, sous l'influence de celle-ci, le tuyau, au lieu de vibrer dans les conditions exigées pour le son fondamental, se subdivise pour produire l'harmonique dont la formation est sollicitée par la vitesse correspondante de l'anche.

Lorsque l'anche est flexible, c'est-à-dire construite en bois ou en roseau, ce n'est plus l'anche qui commande la colonne d'air, mais celle-ci, au contraire, qui contraint l'anche à vibrer synchroniquement avec elle, quelle que soit sa longueur. Anciennement, on ne connaissait que l'*anche battante*, qui engendre les vibrations de l'air par ses battements contre le cadre d'une espèce de rigole à laquelle elle est adaptée. De nos jours, cette anche n'est recherchée que pour les instruments dont le son doit être nécessairement criard et perçant, tels que les cornes d'appel et les instruments à l'usage de signaux de chemins de fer.

L'anche la plus généralement employée est l'*anche libre*. On en attribue l'invention à Grenié, vers 1810, quoiqu'elle fût connue en Chine de temps immémorial.

L'anche libre représentée par la figure suivante vibre dans une ouverture un peu plus grande, de façon à n'en pas toucher

les bords. En repos, elle ferme l'ouverture, mais par son mouvement elle oscille en dedans et en dehors, produisant ainsi des intermittences dans le courant d'air d'où naissent les ondes sonores.

TUYAUX D'ORGUE.

Les tuyaux à anche ont une importance extrême dans la facture des orgues. C'est à l'application des tuyaux aux anches

que l'orgue doit la majeure partie des riches sonorités qui en font le premier de tous les instruments.

La figure suivante donne une idée de la manière dont l'anche est associée aux tuyaux.

L'air lancé dans le porte-vent A met l'anche B en vibration ; il la repousse d'abord vers l'intérieur et y trouve une issue ; mais l'anche, par la force de son élasticité, revient sur elle-

même, ouvrant et fermant ainsi, à des intervalles égaux, l'espace dans lequel elle vibre, en imprimant à l'air des pulsations consécutives qui produisent le son. Le tuyau C, accordé exactement à l'unisson de l'anche, vibre par l'influence de celle-ci ; de cet ensemble naît la puissante sonorité des tuyaux d'orgue. La rasette mobile D, en appuyant sur la base de l'anche par l'extrémité recourbée en crochet, a pour but de varier légèrement la longueur de la lame vibrante, pour amener de petites modifications dans la hauteur du son.

C'est par les formes diverses données aux tuyaux C que s'obtiennent les variétés de timbres des registres de l'orgue, et que l'on parvient à imiter, avec plus ou moins de vérité, les sons du clairon, de la trompette, du hautbois, etc., etc.

Nous démontrerons, dans un chapitre suivant, ce que l'on entend par la désignation de *gamme tempérée*, mais il est nécessaire d'intercaler ici le tableau suivant, pour nous aider à comprendre plus aisément la théorie des instruments dont l'étude va nous occuper.

	DÉSIGNATION DES sons de la gamme tempérée.	NOMBRE de VIBRATIONS SIMPLES.	LONGUEURS des ONDES SIMPLES calculées à la vitesse moyenne du son 340 mètres en une seconde.	LONGUEUR des TUYAUX OUVERTS.	LONGUEUR des TUYAUX FERMÉS.
OCTAVE DITE DE 32 PIEDS.	*ut*$_{-2}$	32.3	10m516	10m516	5m258
	ut^d ou *ré*^{b}	34.2	9.927	9.927	4.963
	ré	36.2	9.371	9.374	4.685
	ré^d ou *mi*^{b}	38.4	8.845	8.845	4.422
	mi	40.7	8.349	8.349	4.174
	fa	43.1	7.878	7.878	3.939
	fa^d ou *sol*^{b}	45.7	7.436	7.346	4.718
	sol	48.4	7.019	7.019	3.509
	sol^d ou *la*^{b}	51.3	6.626	6.626	3.313
	la	54.3	6.252	6.252	3.126
	la^d ou *si*^{b}	57.6	5.900	5.900	2.950
	si	61	5.571	5.571	2.785
OCTAVE DITE DE 16 PIEDS.	*ut*$_{-1}$	64.6	5.258	5.258	2.629
	ut^d ou *ré*^{b}	68.5	4.963	4.963	2.481
	ré	72.5	4.685	4.685	2.342
	ré^d ou *mi*^{b}	76.8	4.422	4.422	2.211
	mi	81.4	4.174	4.174	2.087
	fa	86.3	3.9 9	3.939	1.969
	fa^d ou *sol*^{b}	91.4	3.718	3.718	1.859
	sol	96.8	3.509	3.509	1.754
	sol^d ou *la*^{b}	102.6	3.313	3.313	1.656
	la	108.7	3.126	3.126	1.563
	la^d ou *si*^{b}	115.2	2.950	2.950	1.475
	si	122	2.785	2.785	1.392

	DÉSIGNATION DES sons de la gamme tempérée.	NOMBRE de VIBRATIONS SIMPLES.	LONGUEURS des ONDES SIMPLES calculées à la vitesse moyenne du son 340 mètres en une seconde.	LONGUEUR des TUYAUX OUVERTS.	LONGUEUR des TUYAUX FERMÉS.
OCTAVE DITE DE 8 PIEDS.	*ut*$_1$	129.3	2.629	2.629	1.314
	ut^d ou *ré*^{b}	137	2.481	2.481	1.240
	ré	145.1	2.342	2.342	1.171
	ré^d ou *mi*^{b}	153.7	2.211	2.211	1.105
	mi	162.9	2.087	2.087	1.043
	fa	172.6	1.969	1.969	0.984
	fa^d ou *sol*^{b}	182.8	1.859	1.859	0.929
	sol	193.7	1.754	1.754	0.877
	sol^d ou *la*^{b}	205.2	1.656	1.656	0.828
	la	217.5	1.563	1.563	0.781
	la^d ou *si*^{b}	230.4	1.475	1.475	0.737
	si	244.1	1.392	1.392	0.696
OCTAVE DITE DE 4 PIEDS.	*ut*$_2$	258.6	1.314	1.314	0.657
	ut^d ou *ré*^{b}	274	1.240	1.240	0.620
	ré	290.2	1.171	1.171	0.585
	ré^d ou *mi*^{b}	307.5	1.105	1.105	0.552
	mi	325.7	1.043	1.043	0.521
	fa	345.	0.984	0.984	0.492
	fa^d ou *sol*^{b}	365.7	0.929	0.929	0.464
	sol	387.5	0.877	0.877	0.438
	sol^d ou *la*^{b}	410.5	0.828	0.828	0.414
	la	435	0.781	0.781	0.390
	la^d ou *si*^{b}	460.8	0.737	0.737	0.368
	si	488.2	0.696	0.696	0.348

	DÉSIGNATION DES s ons de la gamme tempérée.	NOMBRE de VIBRATIONS SIMPLES	LONGUEURS des ONDES SIMPLES calculées à la vitesse moyenne du son 340 mètres en une seconde.	LONGUEUR des TUYAUX OUVERTS.	LONGUEUR des TUYAUX FERMÉS.
OCTAVE DITE DE 2 PIEDS.	*ut*$_3$	517.2	0.657	0.657	0.328
	ut^d ou *ré*^{b}	548	0.620	0.620	0.310
	ré	580.5	0.585	0.585	0.292
	ré^d ou *mi*^{b}	615	0.552	0.552	0.276
	mi	651.5	0.521	0.521	0.260
	fa	690.5	0.492	0.492	0.246
	fa^d ou *sol*^{b}	731.5	0.464	0.464	0.232
	sol	775	0.438	0.438	0.219
	sol^d ou *la*^{b}	821	0.414	0.414	0.207
	la	870	0.390	0.390	0.195
	la^d ou *si*^{b}	921.6	0.368	0.368	0.184
	si	976.5	0.348	0.348	0.174
	ut$_4$	1034.5	0.328	0.328	0.164
OCTAVE DITE DE 1 PIED.	*ut*^{d} ou *ré*	1096	0.310	0.310	0.155
	ré	1161	0.292	0.292	0.146
	ré^d ou *mi*^{b}	1230	0.276	0.276	0.138
	mi	1303	0.260	0.260	0.130
	fa	1381	0.246	0.246	0.123
	fa^d ou *sol*^{b}	1463	0.232	0.232	0.116
	sol	1550	0.219	0.219	0.109
	sol^d ou *la*^{b}	1642	0.207	0.207	0.103
	la	1740	0.195	0.195	0.097
	la^d ou *si*^{b}	1843	0.184	0.184	0.092
	si	1953	0.174	0.174	0.087

	DÉSIGNASION DES sons de la gamme tempérée.	NOMBRE de VIBRATIONS SIMPLES.	LONGUEURS des ONDES SIMPLES calculées à la vitesse moyenne du son 340 mètres en une seconde.	LONGUEUR des TUYAUX OUVERTS.	LONGUEUR des TUYAUX FERMÉS.
OCTAVE DITE DE 6 POUCES.	*ut*$_5$	2069	0.164	0.164	0.082
	ut^d ou ^{b}	2192	0.155	0.155	0.077
	ré	2322	0.146	0.146	0.073
	ré^d ou *mi*^{b}	2460	0.138	0.138	0.069
	mi	2606	0.130	0.130	0.065
	fa	2762	0.123	0.123	0.061
	fa^d ou *sol*^{b}	2926	0.116	0.116	0.058
	sol	3100	0.109	0.109	0.054
	sol^d ou *la*^{b}	3284	0.103	0.103	0.051
	la	3480	0.097	0.097	0.048
	la^d ou *si*^{b}	3686	0.092	0.092	0.046
	si	3906	0.087	0.087	0.043
OCTAVE DITE DE 3 POUCES.	*ut*$_6$	4138	0.082	0.082	0.041
	ut^d ou *ré*^{b}	4384	0.077	0.077	0.038
	ré	4644	0.073	0.073	0.036
	ré^d ou *mi*^{b}	4920	0.069	0.069	0.034
	mi	5212	0.065	0.065	0.032
	fa	5524	0.061	0.061	0.030
	fa^d ou *sol*^{b}	5852	0.058	0.058	0.029
	sol	6200	0.054	0.054	0.027
	sol^d ou *la*^{b}	6568	0.051	0.051	0.025
	la	6960	0.048	0.048	0.024
	la^d ou *si*^{b}	7372	0.046	0.046	0.023
	si	7812	0.043	0.043	0.021

Au moyen des données suivantes on pourra facilement calculer

Nombre de vibrations de tous les sons de la gamme tempé

NOMBRES de VIBRATIONS pour un la_5	$N \times \sqrt[12]{2}$ *la*^{d} *si*^{b}	$N \times \sqrt[12]{2^2}$ *si*	$N \times \sqrt[12]{2^5}$ *do*	$N \times \sqrt[12]{2^7}$ *do*^{d} *ré*^{b}	$N \times \sqrt[12]{2^{\text{[illegible]}}}$ *ré*
871	922.79	977.66	1035.79	1097.39	1162.64
872	923.87	978.78	1036.97	1098.65	1163.97
873	924.91	979.90	1038.17	1099.91	1165.31
874	925.97	981.03	1039.36	1101.17	1166.64
875	927.03	982.15	1040.55	1102.43	1167.98
876	928.08	983.27	1041.74	1103.69	1169.31
877	929.15	984.40	1042.93	1104.95	1170.65
878	930.20	985.52	1044.12	1106.21	1171.98
879	931.27	986.64	1045.31	1107.47	1173.32
880	932.33	987.76	1046.50	1108.73	1174.65
881	933.39	988.88	1047.68	1109.99	1175.98
882	934.45	990.01	1048.88	1111.25	1177.32
883	935.51	991.13	1050.06	1112.51	1178.63
884	936.53	992.95	1051.35	1113.77	1179.99
885	937.62	993.37	1052.44	1115.03	1181.33
886	938.68	994.51	1053.63	1116.29	1182.66
887	939.79	995.72	1054.82	1117.55	1184.00
888	940.81	99[illegible].84	1056.01	1118.81	1185.33
889	941.86	997.96	1057.21	1119.07	1186.67
890	942.92	999.10	1058.40	1120.33	1188.01
891	943.98	1000.23	1059.49	1121.59	1189.34
892	945.04	1001.37	1060.78	1122.85	1190.67
893	746.10	1002.48	1061.97	1124.11	1192.01
894	947.16	1003.60	1063.19	1125.37	1193.34

mbres du tableau précédent pour tous les changements de diapason.

asée sur un *la*$_3$ quelconque compris entre 870 et 922 vibrations.

$N \times \sqrt[12]{2^6}$ *ré*^{d} *mi*^{b}	$N^o \times \sqrt[21]{2^7}$ *mi*	$N^{es} \times \sqrt[12]{2^8}$ *fa*	$N^{es} \times \sqrt[12]{2^9}$ *fa*^{d} *sol*^{b}	$N^{es} \times \sqrt[12]{2^{10}}$ *sol*	$N^{es} \times \sqrt[12]{2^{11}}$ *sol*^{d} *la*^{b}
1231.78	1305.00	1382.66	1464.84	1551.94	1644.22
1233.19	1306.52	1384.21	1466.52	1553.72	1646.11
1234.61	1308.02	1385.80	1468.22	1555.50	1648.00
1236.02	1309.52	1387.38	1469.88	1557.29	1649.89
1237.43	1311.02	1388.97	1471.56	1559.07	1651.78
1238.85	1312.51	1390.56	1473.25	1560.85	1653.66
1240.26	1314.01	1392.15	1474.93	1562.63	165[illegible].55
1241.67	1315.51	1393.73	1476.61	1564.41	1657.44
1243.09	1317.01	1395.32	1478.29	1566.20	1659.33
1244.50	1318.51	1396.91	1479.97	1567.98	1661.21
1245.91	1320.00	1398.49	1481.64	1569.76	166[illegible].00
1247.33	1321.50	1400.08	1483.34	1571.54	1664.09
1248.74	1323.00	1401.68	1485.04	1573.32	1666.88
1250.15	1324.50	1403.26	1486.70	1575.20	1668.77
1251.57	1326.00	1404.85	1488.38	1576.89	1670.65
1252.98	1427.49	1406.43	1490.06	1578.67	1672.54
1254.39	1328.99	1408.02	1491.74	1580.45	1674.43
1255.81	1330.49	1409.61	1493.43	1582.23	1676.32
1257.22	1331.99	1411.51	1495.11	1584.01	1678.21
1258.63	1333.49	1412.78	1496.79	1585.79	1680.10
1260.05	1334.94	1414.37	1498.47	1587.58	1681.89
1261.46	1336.40	1415.96	1500.15	1589.37	1683.78
1262.87	1337.89	1417.54	1501.84	1590.77	1685.[illegible]6
1264.29	1339.39	1419.13	1503.52	1592.92	1687.65

NOMBRES de VIBRATIONS pour un la_3	$N \times \sqrt[12]{2}$ la^d si^b	$N \times \sqrt[12]{2^2}$ si	$N \times \sqrt[12]{2^3}$ do	$N \times \sqrt[12]{2^4}$ do^d $ré^b$	$N \times \sqrt[12]{2}$ $ré$
895	948.21	1004.73	1064.36	1126.63	1194.68
896	949.27	1005.85	1065.52	1127.89	1196.01
897	950.33	1006.98	1066.71	1129.15	1197.35
898	951.39	1008.09	1067.90	1130.41	1198.68
899	952.45	1009.17	1069.10	1131.67	1200.02
900	953.51	1010.33	1070.28	1133.93	1201.35
901	954.57	1011.50	1071.47	1135.19	1202.69
902	955.63	1012.62	1072.66	1136.45	1204.02
903	956.69	1013.75	1073.85	1137.71	1205.35
904	957.75	1014.89	1075.04	1138.97	1206.69
905	958.81	1015.99	1076.23	1140.23	1208.02
906	959.87	1017.16	1077.42	1141.49	1209.64
907	960.93	1018.28	1078.61	1142.75	1210.69
908	961.99	1019.34	1079.80	1144.01	1212.03
909	963.05	1020.54	1080.98	1145.27	1213.36
910	964.11	1021.42	1082.17	1146.53	1214.70
911	965.17	1022.56	1083.36	1147.79	1216.03
912	966.23	1023.67	1084.55	1149.05	1217.37
913	967.29	1024.80	1085.72	1150.31	1618.70
914	968.35	1025.93	1086.93	1151.57	1220.04
915	969.41	1027.05	1088.13	1152.83	1221.37
916	970.46	1028.17	1089.31	1154.09	1222.71
917	971.52	1029.29	1090.50	1155.35	1224.02
918	972.58	1030.42	1091.68	1156.61	1225.38
919	973.65	1031.54	1092.88	1157.87	1226.71
920	974.70	1032.66	1094.07	1159.13	1223.05
921	975.76	1033.77	1095.25	1160.39	1229.39
922	976.82	1034.89	1096.44	1161.04	1230.72

$\times\sqrt[12]{2^6}$	$N^o \times\sqrt[12]{2^7}$	$N^{es} \times\sqrt[12]{2^8}$	$N^{es} \times\sqrt[12]{2^9}$	$N^{es} \times\sqrt[12]{2^{10}}$	$N^{es} \times\sqrt[12]{2^{11}}$
ré^d *ni*^{b}	*mi*	*fa*	*fa*^{d} *sol*^{b}	*sol*	*sol*^{d} *la*^{b}
1265.70	1340.98	1420.72	1505.20	1594.70	1589.54
1267.11	1342.48	1422.31	1506.87	1596.49	1691.43
1268.54	1343.98	1423.89	1508.56	1598.27	1693.32
1269.95	1345.47	1425.48	1510.25	1600.05	1695.21
1271.35	1346.91	1427.07	1511.93	1601.83	1697.10
1272.79	1348.47	1428.66	1513.67	1603.60	1698.99
1274.20	1349.97	1430.24	1515.29	1605.49	1700.88
1275.62	1351.47	1431.83	1516.97	1607.18	1702.77
1277.04	1352.97	1433.42	1518.65	1608.96	1704.66
1278.45	1354.46	1435.01	1520.34	1610.74	1706.55
1279.86	1355.96	1436.19	1522.02	1612.52	1708.43
1281.38	1357.46	1438.18	1523.70	1614.31	1710.30
1282.70	1358.96	1439.77	1525.38	1616.01	1712.19
1284.11	1360.46	1441.39	1527.06	1617.87	1714.07
1285.53	1361.96	1442.94	1528.74	1619.65	1715.96
1286.94	1363.45	1444.53	1530.43	1621.43	1717.85
1288.35	1364.95	1446.12	1532.11	1623.21	1719.73
1289.77	1366.45	1447.71	1533.79	1624.95	1721.62
1291.18	1367.95	1449.29	1535.47	1626.78	1723.51
1292.[illegible]9	1369.45	1450.88	1537.17	1628.56	1725.40
1294.01	1370.95	1452.47	1538.84	1630.34	1727.29
1295.42	1372.44	1454.05	1540.52	1632.12	1729.17
1296.83	1373.94	1455.64	1542.20	1633.90	1730.06
1298.26	1375.44	1457.23	1543.89	1635.69	1731.95
1299.67	1376.94	1458.80	1545.56	1637.47	1733.84
1301.08	1378.44	1460.40	1547.34	1639.27	1735.73
1302.50	1379.94	1461.99	1548.13	1641.03	1737.62
1303.90	1381.43	1463.58	1550.62	1642.81	1740.50

INSTRUMENTS DE CUIVRE.

Cette désignation, appliquée aux instruments de musique, est impropre; elle a fait naître cette grossière erreur, malheureusement si répandue, qui consiste à croire que le métal des instruments entre pour une grande partie dans la détermination des timbres, sur la différence desquels est basée la classification des nombreuses familles en usage aujourd'hui. Nous le répétons encore, la seule cause de la différence du timbre des instruments de musique est due aux diverses manières dont les colonnes d'air sont ébranlées et aux diverses proportions qui servent de base à la construction. Le cuivre a été choisi de préférence a tout autre métal parce qu'il réunit le plus toutes les qualités qui facilitent la fabrication.

Les proportions de la colonne d'air ont une importance extrême; non-seulement elles déterminent, comme nous venons de le dire, la différence de timbre entre les instruments, mais c'est à leur régularité, à l'exactitude apportée dans leur développement, qu'est due la justesse des harmoniques. Un instrument de cuivre est faux lorsque la régularité des proportions est interrompue. Les proportions exactes sont nécessaires, tous les facteurs le savent, mais comment les définir? Quelle est la formule qui sert de base à leur développement?

Rien de bien sérieux n'a été publié à cet égard; le tâtonnement, les lois empiriques, sont les seuls guides dont on se soit servi jusqu'à présent. Cependant, nous avons la conviction que ces proportions suivent le développement d'une courbe géométrique dont la forme se rapproche de l'hyperbole et dont nous espérons publier un jour la formule.

Les résultats que nous avons obtenus jusqu'à présent nous ont suffisamment prouvé que nous sommes sur la bonne voie; si nous ne publions pas encore ces résultats c'est que nous désirons dissiper nos derniers doutes par une plus longue expérience.

La longueur pratique des instruments de cuivre, — employons cette désignation habituelle pour nous faire mieux

comprendre — s'écarte des longueurs théoriques. Ces dernières ont toujours pour résultat des sons plus graves que ceux que l'on désire produire, parce qu'une partie de l'air extérieur communiquant avec celui de la colonne d'air, participe à la vibration et augmente conséquemment la longueur des ondes. Nous inspirant de la loi découverte par M. Cavaillé-Coll (*), nous sommes parvenu, après de longues recherches, à trouver une formule, qui nous a donné jusqu'à présent des résultats très-satisfaisants. Elle diffère peu de celle du célèbre facteur d'orgues. La voici :

$$L = \frac{V}{N} - 2D$$

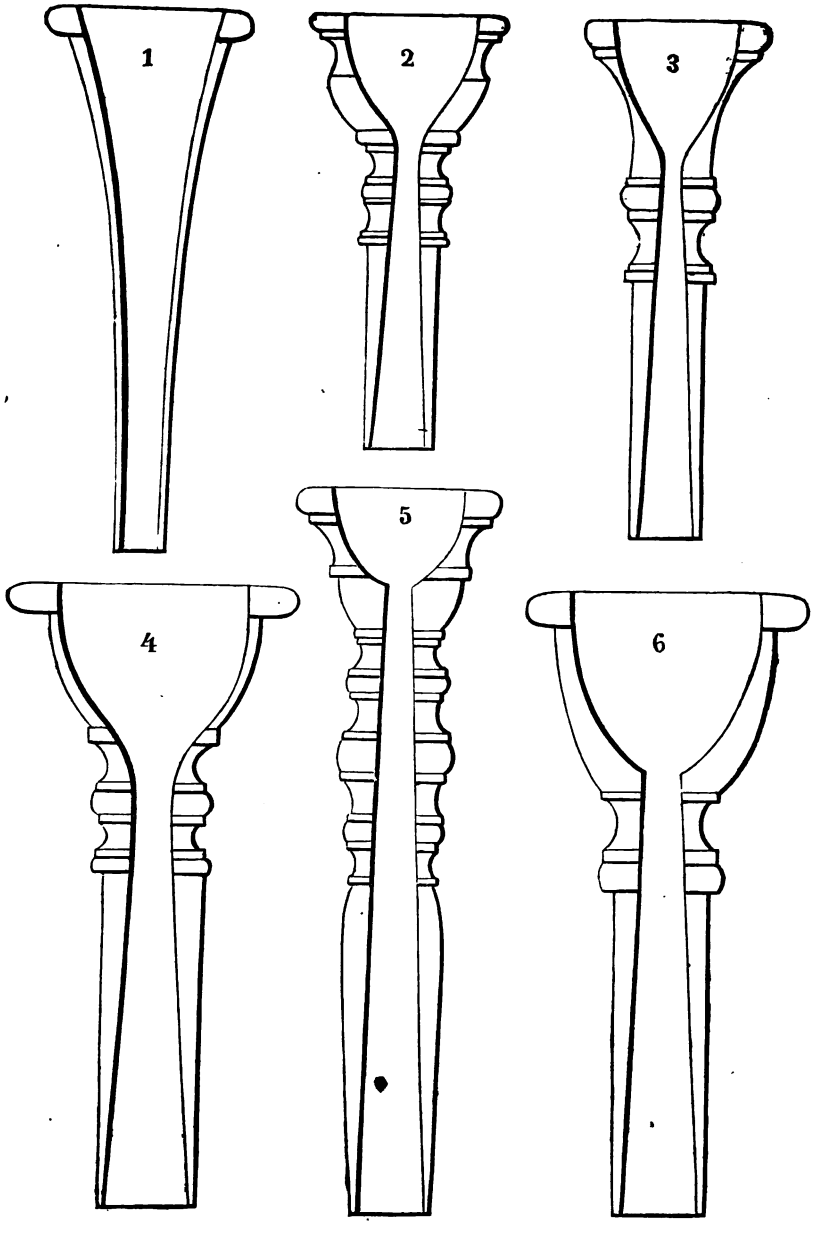
C'est-à-dire que la longueur est égale à l'onde simple diminuée de deux fois le diamètre du tuyau. Il est à remarquer que les tuyaux étant tous terminés par un développement progressif, nous entendons par diamètre la partie la plus large, là où le pavillon proprement dit, commence son épanouissement (**).

Les instruments de cuivre sont rangés parmi les tuyaux à anche, parce que la vibration de la colonne d'air est provoquée par celle des lèvres qui font ici l'office de véritables anches. Cette vibration des lèvres engendre, par des différences de pression, non-seulement la formation du son fondamental, mais aussi celle de tous les harmoniques appartenant aux tuyaux ouverts par les deux bouts, c'est-à-dire ceux qui suivent la série des sons 1, 2, 3, 4, etc., sans autres limites que celles déterminées par la longueur du tuyau.

La pression de l'embouchure contre les lèvres est plus importante qu'on ne le croit ordinairement ; c'est absolument d'elle que dépend la certitude dans l'attaque d'un harmonique déter-

(*) Nous aurons l'occasion d'expliquer cette loi en nous occupant de l'étude des tuyaux à bouche.

(**) Le brusque épanouissement du pavillon n'est qu'une question de forme. Il ne résulterait aucun changement dans le timbre ni dans la sonorité, si le tuyau, au lieu d'être terminé par le pavillon, continuait jusqu'à son extrémité inférieure la régularité de son parcours primitif.


1
2
3
4
5
6

miné. Ce sont les différents degrés de pression exercée contre les lèvres qui déterminent la vitesse de la vibration de ces dernières et conséquemment la hauteur du son produit, renforcé par le tuyau ou l'une de ses divisions. Pour remplir ce rôle important, cette pression doit être exercée exclusivement par l'une des mains : c'est compromettre gravement la sûreté de l'exécution que de diminuer la liberté de cette main pour lui confier une fonction supplémentaire relativement au rôle qu'elle est appelée à remplir.

La forme de l'embouchure exerce une grande influence sur le timbre. Un bassin de forme curviligne engendre des sons d'autant plus éclatants que le grain est plus rapproché des lèvres. On appelle *grain* la partie la plus rétrécie de l'intérieur de l'embouchure, par laquelle les vibrations formées dans le bassin se communiquent à la colonne d'air, soit en se brisant contre un angle pour produire l'éclat, soit en glissant sur l'angle arrondi pour produire la douceur.

Ainsi la figure 5 de la planche qui précède représente la coupe d'une embouchure de trompette d'harmonie dont le son doit avoir un éclat modéré; il suffit de donner moins de profondeur au bassin pour obtenir l'embouchure qui convient au timbre strident de la trompette de cavalerie.

Le bassin de forme conique est nécessaire aux instruments à sons doux et veloutés, parmi lesquels le *cor* se place au premier rang. C'est l'instrument de cuivre dont le timbre se rapproche le plus de la douce sonorité des instruments de bois avec lesquels il s'allie admirablement. Voyez son embouchure (fig. 1), c'est la plus profonde de toutes, le grain est si écarté qu'il se confond même avec l'ouverture de l'extrémité inférieure.

La figure 6 donne la coupe d'une embouchure de trombone; la forme curviligne est exactement observée et se distingue facilement du bassin adopté pour l'embouchure du tuba (fig. 4). La première de ces embouchures contribue à l'éclat du trombone, la seconde est nécessaire à la douceur de timbre du tuba.

Le cornet a le son plus éclatant que le bugle contralto en *si*^{b}; les figures 2 et 3 représentent leurs embouchures respectives. La première se rapproche de la forme curviligne, la seconde de la forme conique.

Toute la famille des bugles emploie des embouchures dont le bassin, de forme conique, aide à la formation du timbre qui caractérise ces instruments.

Il est facile de comprendre l'influence que la forme du bassin exerce sur la formation du timbre si l'on veut bien se rendre compte que c'est dans le bassin que les ondes sonores prennent naissance. Aussi ne pouvons-nous assez conseiller aux artistes de ne pas se servir d'autre embouchure que celle qu'une longue expérience a désignée aux facteurs, comme la seule convenable au timbre de l'instrument qu'elle accompagne. Nous voyons souvent des artistes jouant du cornet et du bugle en *si*^{b}, se servir de la même embouchure, sans se douter que la différence de timbre de ces deux instruments exige des embouchures possédant des bassins de formes opposées. La même observation s'adresse aux artistes jouant du trombone et du tuba. L'emploi de la même embouchure pour les deux instruments doit amener inévitablement l'altération de l'un des deux timbres.

Les vibrations des lèvres obtenues par la pression des bords de l'embouchure, sont d'autant plus rapides que l'instrument est plus aigu, puisque les lèvres vibrent à l'unisson des longueurs d'ondes de la colonne d'air. Les lèvres minces sont donc beaucoup plus avantageuses pour le jeu des petits instruments que les lèvres grosses dont la conformation est plus en rapport avec les instruments basses de grande longueur, dont le son est le résultat de vibrations moins rapides (*).

Rien n'est plus désavantageux pour l'artiste que le changement d'embouchure; le seul moyen d'en posséder une

(*) Le diamètre de l'embouchure augmente en raison de la gravité de l'instrument.

bonne consiste à s'habituer, par l'étude et l'exercice, à celle que l'on possède ; de cette façon les lèvres vibrant sous l'action d'une pression obtenue par des bords de forme et de diamètre invariables, acquièrent une flexibilité et une élasticité qu'elles ne peuvent obtenir par des embouchures différentes modifiant, à chaque changement, le contour des parties vibrantes.

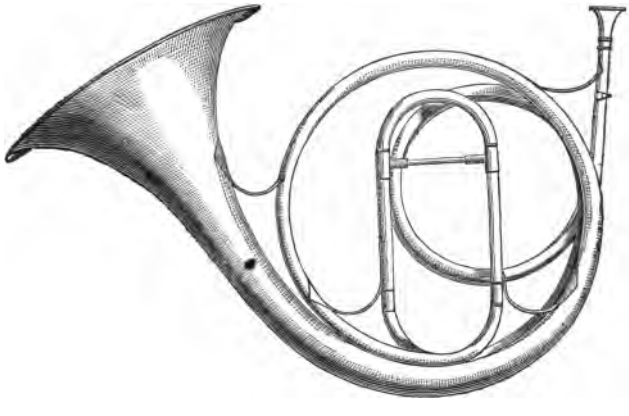
Les instruments de cuivre se divisent en quatre catégories bien distinctes; ils sont : *simples*, à *coulisses*, à *clefs* ou à *pistons*.

1° INSTRUMENTS SIMPLES.

Les instruments *simples* sont encore désignés sous le nom d'instruments *naturels*. On les appelle ainsi parce qu'ils ne peuvent donner que la série naturelle des harmoniques. Les divers partages du tuyau sont provoqués par une augmentation progressive dans la vitesse de vibration des lèvres.

Les principaux instruments naturels sont : le cor et la trompe de chasse, la trompette et le clairon.

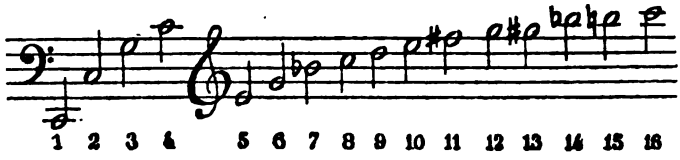
Le **COR** est un tuyau dont la colonne d'air est conique depuis



l'embouchure jusqu'à l'extrémité du pavillon; il se construit

ordinairement en si^b, en prenant pour note fondamentale le si^b_{-1}, de 115,2 vibrations simples : sa longueur théorique est donc de $2^m,950$ (*).

L'étendue générale du cor est la suivante :



Mais tous ces harmoniques ne sont pas praticables. Le son fondamental 1 ne peut être employé parce que le diamètre de l'instrument, comparé à la longueur, est trop petit. Les sons 11, 12, 13, 14, 15 et 16 ne deviennent possibles que lorsque l'instrument reçoit une augmentation de longueur au moyen des tons de rechange.

On appelle *tons de rechange* des tubes supplémentaires qui allongent l'instrument pour le transporter dans une nouvelle tonalité et conséquemment pour lui faire produire une autre série d'harmoniques. Ainsi, quand on applique sur le cor le ton de *fa* par exemple, nous avons pour fondamentale le fa_{-1} de 83,6 vibrations, amené par une longueur théorique de $3^m,939$. Le ton de *fa* appliqué sur le cor en si^b a donc pour but d'allonger celui-ci de $0^m,989$. En effet :

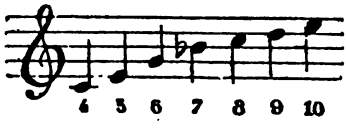
$3^m,939$ longueur de fa_{-1}
diminué de $2^m,950$ longueur de si^b_{-1}

donne : $0^m,989$

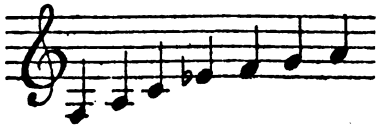
(*) La longueur des instruments de cuivre se mesure depuis l'embouchure jusqu'à l'extrémité du pavillon en suivant tous les contours. La forme de ceux-ci n'exerce aucune influence sur la hauteur du son.

Les harmoniques, dont l'ordre de production reste toujours le même, au lieu d'avoir leur effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite, comme c'est le cas pour le cor en *si*^{b}, produisent leur effet à la quinte inférieure de cette note, quand le cor est en *fa*.

En ce cas les harmoniques:



produisent l'effet réel suivant :



Le cor simple emploie les sons suivants qui tous se substituent au ton désigné sur le dessin de l'instrument par la lettre A.

Ton de	*si*^{b}	son fondam.	*si*$^b_{-1}$	de	115.2	vibrat.;	long. théor. totale.	2^{m}950
»	*la*	»	*la*$_{-1}$	de	108.7	»	»	3.126
»	*la*^{b}	»	*la*$^b_{-1}$	de	102.6	»	»	3.313
»	*sol*	»	*sol*$_{-1}$	de	96.8	»	»	3.509
»	*fa*	»	*fa*$_{-1}$	de	86.3	»	»	3.939
»	*mi*	»	*mi*$_{-1}$	de	81.4	»	»	4.174
»	*mi*^{b}	»	*mi*$^b_{-1}$	de	76.8	»	»	4.422
»	*ré*	»	*ré*$_{-1}$	de	72.5	»	»	4.685
»	*ré*^{b}	»	*ré*$^b_{-1}$	de	68.5	»	»	4.963
»	*ut*	»	*ut*$_{-1}$	de	64.6	»	»	5.258
»	*si*	»	*si*$_{-2}$	de	61	»	»	5.571
»	*si*^{b} *grave*	»	*si*$^b_{-2}$	de	57.6	»	»	5.900

Les quatre derniers sons ne sont guère employés, car le

timbre de l'instrument s'altère notablement par suite de la difficulté de donner des proportions convenables à des longueurs de tuyau si différentes. Les meilleurs tons sont les quatre moyens, *fa*, *mi*, *mi*^{b} et *ré*. La différence d'une longueur à une autre établit le rapport d'un ton à l'autre, ainsi que nous l'avons démontré plus haut à l'égard du ton de *fa*.

Nous avons dit précédemment que les derniers harmoniques de l'octave aiguë n'étaient praticables que sur les cors d'une assez grande longueur. Ainsi le cor en *si*^{b} ne peut pas dépasser le dixième harmonique, le cor en *sol* donne déjà le douzième harmonique avec facilité, et le cor en *mi*^{b} produit toute la série de l'octave aiguë. Cette différence s'explique facilement : les harmoniques sont produits par le partage des tuyaux, et il est évident qu'un tuyau long se divise bien plus aisément en un grand nombre de parties qu'un tuyau relativement court.

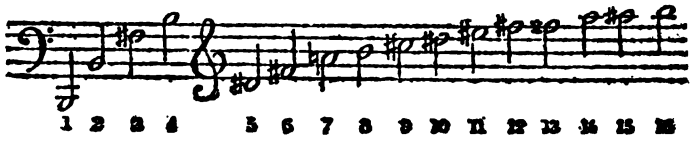
Pour la production des sons graves, le contraire a lieu. Nous avons vu que le son fondamental, point de départ pour le calcul de la longueur du tuyau, ne s'emploie jamais sur le cor. Les cors en *si*^{b} donnent avec facilité le deuxième harmonique; mais, au fur et à mesure que l'on ajoute des tons de rechange pour baisser l'instrument, la production de ce son devient plus pénible, et il finit par disparaître tout à fait avec l'emploi des tons graves. Ce phénomène est expliqué par la difficulté de faire vibrer, en un nombre restreint de parties, un tuyau de si grande dimension.

Au contraire, le partage du tuyau en un grand nombre de parties égales vibrant à l'unisson, donne la raison pour laquelle les cornistes et les instrumentistes en général ont tant de peine à produire avec certitude les harmoniques de l'octave aiguë. La différence entre la division des tubes devient si petite, que la moindre erreur dans la pression nécessaire occasionne la production d'un harmonique pour un autre. Ceci fait ressortir l'importance du rôle de la main à laquelle est confiée la pression de l'embouchure.

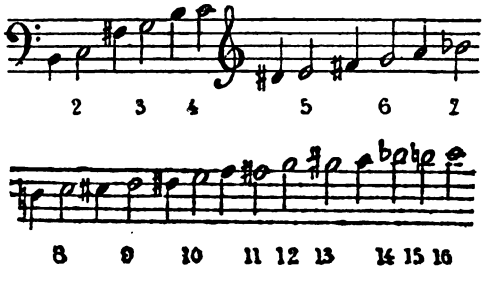
Le tuyau, se divisant en parties égales dans l'ordre de la progression 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, engendre naturellement, en vertu de la loi des longueurs, les vibrations qui s'y rapportent dans l'ordre de la progression arithmétique inverse 1, 2, 3, 4, 5. Ces sons, que nous appelons *harmoniques*, ne sont pas tous justes avec la gamme qui sert de base à notre système tonal. Pratiquement, les sons 7 et 14 sont trop bas; le son 11, considéré comme *fa*, est trop haut; comme *fa dièse*, il est trop bas. Le treizième est un *sol dièse* trop haut.

La forme du cor permet d'employer un artifice qui corrige ces défauts et qui augmente considérablement la ressource de l'instrument. Il consiste à introduire la main gauche dans le pavillon et à produire, par une fermeture *partielle*, l'abaissement de l'instrument de tout un demi-ton.

Les harmoniques dont nous connaissons l'ordre de la série naturelle, deviennent des sons que l'on appelle ordinairement *bouchés*, ils résonnent plus sourdement que les autres. Les voici :



De sorte que, en abandonnant le son fondamental dont on ne peut se servir, l'étendue générale du cor devient la suivante :



(Les noires indiquent les sons bouchés, les blanches les sons naturels.)

On arrive par la pratique et l'exercice à faire alterner le sons ouverts avec les sons bouchés, de façon à produire très-convenablement toute l'étendue chromatique qui précède.

Il est à remarquer ici qu'une erreur généralement répandue fait écrire les sons 2, 3, 4 du cor, à l'octave inférieure de leur diapason réel et en se servant de la clef de *fa*. Cette remarque a son importance, parce que cet usage inexpliqué pourrait amener une mauvaise interprétation de l'ordre ou de la position des harmoniques.

La *trompe de chasse* est un cor construit dans des proportions très-étroites afin d'obtenir un timbre éclatant. Cet instrument ne possède pas de tons de rechange. Il se construit ordinairement en $ré^{b}_{1}$ de 68.5 vibrations. Sa longueur théorique est donc de $4^{m},963$. Ce que nous avons dit du cor s'applique à la trompe de chasse, à l'exception des sons bouchés qui ne s'y emploient pas. Les harmoniques se produisent et s'écrivent de la même façon.

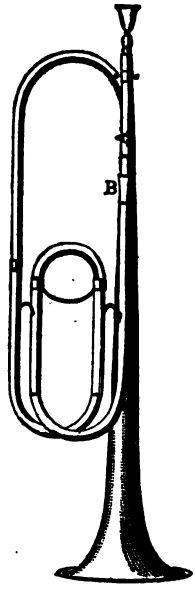
La **TROMPETTE** est un tuyau dont la colonne d'air est presque entièrement cylindrique, le développement du pavillon (*) commence après les deux tiers de la longueur. C'est à cette

(*) Les instruments de cuivre quelle que soit la forme de leur tuyau, conique ou cylindrique, se terminent tous par une sorte de développement conique appelé pavillon. Ce développement progressif est de toute nécessité : ce sont les proportions que lui donne le facteur qui déterminent la justesse des harmoniques.

Les instruments de cuivre diffèrent sous ce rapport avec les tuyaux à bouche, que nous étudierons plus loin. Ceux-ci malgré le parcours cylindrique de la colonne d'air, produisent des harmoniques parfaitement justes. Si nous ébranlons une colonne d'air entièrement cylindrique par une embouchure semblable à celle dont on se sert pour les instruments de cuivre, le tuyau ne parle pas, car on ne saurait attribuer aucun caractère musical au son qui se produit, et les harmoniques que l'on obtient, au lieu d'être en progression arithmétique 2, 3, 4, 5, etc., avec le son 1, n'ont aucun rapport avec celui-ci. Au contraire, ils s'en écartent de plus en plus.

construction spéciale, dont la forme de l'embouchure augmente l'effet, et à aucune autre cause, qu'est dû le timbre éclatant de cet instrument.

La trompette est ordinairement construite en *fa*, en prenant pour longueur fondamentale le fa_1 de 172,6 vibrations, donnant



une longueur théorique de $1^m,969$. On peut, au moyen des tons de rechange qui augmentent proportionnellement la longueur de l'instrument, l'abaisser pour produire les tons de :

mi	son fondamental	mi_1	de 162,9	vibrations ;	loug. théor. totale,	2^m087
mi_b	»	$mi^b{}_1$	de 153,7	»	»	2,211
ré	»	$ré_1$	de 145,1	»	»	2,342
$ré^b$	»	$ré^b{}_1$	de 137	»	»	2,481
ut	»	ut_1	de 129,3	»	»	2,629
si	»	si_{-1}	de 122	»	»	2,785
si^b	»	si^b_{-1}	de 115,2	»	»	2,950

Les deux derniers tons ne sont pas usités, parce que le timbre s'altère pour les mêmes raisons que nous avons données en parlant du cor.

Les tons de rechange s'appliquent en A dans l'emboîtement B, disposé à cet effet, ainsi que le montre le dessin précédent.

Les harmoniques de la trompette sont aussi nombreux que ceux du cor, et ils s'écrivent de même; leur emploi est subordonné à la longueur du tuyau.

Le son fondamental n'est jamais usité; l'harmonique 2 est possible pour les tons de *fa* et *mi*, mais difficile pour les tons plus graves. L'étendue au grave la plus généralement en usage

est limitée au troisième harmonique. Par contre, ainsi que pour le cor, plus les tons de rechange sont graves, plus les harmoniques élevés deviennent faciles. Avec le ton de *fa*, la trompette se limite au dixième harmonique. Avec le ton de *ré*, on prend facilement l'harmonique 12, et si l'on consulte les

partitions de Handel et de Bach, on y trouve la trompette en *ré* employée jusqu'au seizième harmonique.

La notation d'une partie de trompette, avec le ton d'*ut* (129,3 vibrations, longueur fondamentale $2^m,629$) représente exactement l'effet réel.

La forme de la trompette ne permet pas l'usage des sons bouchés, dont l'emploi du reste dénaturerait complétement le timbre de l'instrument.

La *trompette de cavalerie* sert, comme son nom l'indique, aux signaux des troupes à cheval. Elle est construite en prenant pour son fondamental le $mi^b{}_1$ d'une longueur de $2^m,211$.

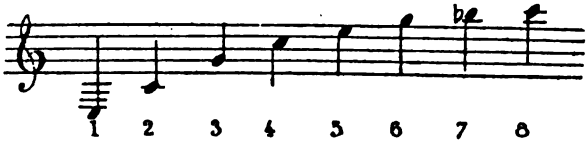
Les harmoniques se notent comme ceux de la trompette ordinaire et s'emploient depuis le 2e jusqu'au 12e.

Voir le dessin de cet instrument à la page 106.

Le **CLAIRON** est l'instrument qui sert généralement aux signaux de l'infanterie. C'est un tuyau dont la colonne d'air

est conique, la longueur fondamentale est généralement basée sur le $si^b{}_1$, de 230,4 vibrations simples. Cette longueur est théoriquement de $1^m,475$.

L'étendue de cet instrument est la suivante :



Il est à remarquer que son diapason exige que les harmoniques soient notés une octave plus haut que ceux du cor et de la trompette; mais ceci n'amène aucune différence quant à l'ordre et la production des harmoniques. C'est une simple manière d'écrire.

Quoique la note fondamentale puisse se donner assez facilement sur le clairon à cause de la largeur de son tuyau, cette note n'est jamais employée. On ne se sert que des sons 2 et 3 de l'octave grave, 4,5,6 de l'octave moyenne, 8 de l'octave aiguë. Le son 7 ne s'emploie guère, parce qu'il fait partie d'une autre tonalité que celle à laquelle appartiennent les autres harmoniques de ce tuyau.

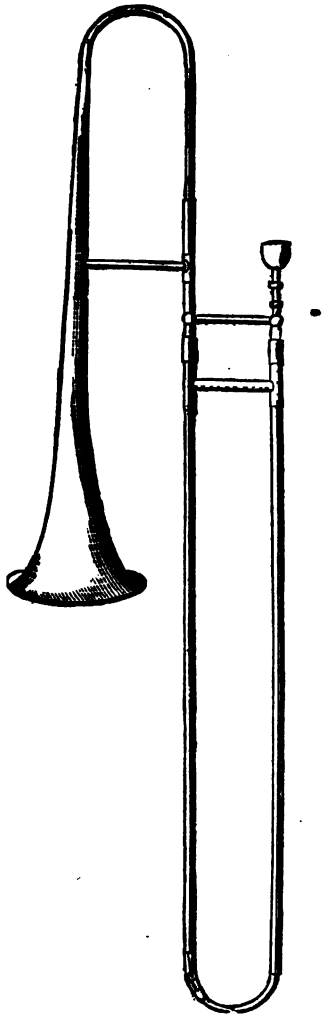
Le son 1 étant accordé à l'unisson du si^{b}_{1}, il en résulte que les harmoniques du clairon en si^{b} ont pour effet la seconde majeure grave de la note écrite.

Quelques clairons sont construits en *ut*, en prenant pour fondamentale l'ut_{2} de 258,6 vibrations, longueur $1^{m},314$; dans ce cas, l'effet réel est exactement à l'unisson de la note écrite.

2° INSTRUMENTS A COULISSE.

La coulisse est une partie mobile glissant sans secousses sur le tube principal de l'instrument, pour en augmenter la longueur dans certaines mesures déterminées. Ces allongements s'obtiennent par des mouvements du bras droit.

La bonne qualité des instruments à coulisse exige que celle-ci,



malgré les allongements dont elle est susceptible, tienne hermétiquement l'air, quelle que soit la position dans laquelle elle est

employée. La necessité de cette condition se passe d'explication, car si les vibrations de la colonne d'air trouvaient issue entre les parois glissantes, l'instrument perdrait son timbre et sa justesse.

Une coulisse semblable n'est évidemment possible que pour un tuyau cylindrique, or, un tuyau semblable terminé par un pavillon dont le développemeut a lieu sur une partie relativement courte de la longueur totale, n'engendre que des sons éclatants. Nous nous sommes déjà étendu sur ce sujet, en parlant de la trompette.

Le **TROMBONE** a une grande analogie de timbre avec la trompette, et, à part quelques applications exceptionnelles de la coulisse à cette dernière, c'est le seul instrument dont la construction ait eu la coulisse pour base.

La famille des trombones comprend trois instruments:

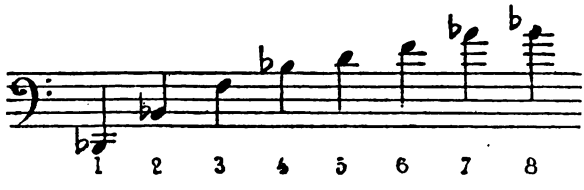
Le *trombone alto*, dont le son fondamental est accordé à l'unisson du *mi*$^{b}_{1}$ de 153,7 vibrations simples; sa longueur théorique est de 2^{m},21. Il est peu employé.

Le *trombone ténor*, ayant pour son fondamental le *si*$^{b}_{-1}$ de 115.2 vibrations et dont la longueur théorique est égale à 2^{m},95. C'est le trombonne le plus répandu; nous pouvons dire qu'il est presque le seul employé.

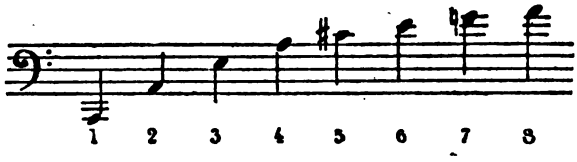
Le troisième instrument est le *trombone basse*, ayant pour fondamentale le *mi*$^{b}_{-1}$ de 76,8 v. s.; pour longueur de tuyau, 4^{m},422.

Les trombones sont les seuls instruments de cuivre dont la notation donne exactement l'effet réel, c'est-à-dire dont les harmoniques portent le même nom que les sons qu'ils représentent.

Ainsi le trombone ténor à coulisses, ayant pour son fondamental le *si*$^{b}_{-1}$, donne dans sa première position, c'est-à-dire dans celle où la coulisse ne fonctionne pas, les sons suivants :



Si nous allongeons l'instrument au moyen de la coulisse, de façon à ce que le son fondamental s'accorde avec le la_{-1} de 108,7 vibrations simples ce que nous obtenons en tirant la coulisse jusqu'à la longueur totale de $3^m,126$ nous aurons la seconde position de l'instrument et les harmoniques deviendront :



L'allongement produit est de :

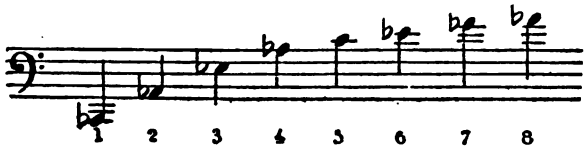
$$\begin{array}{rrl} & 3^m,126 & \text{longueur de } la_{-1} \\ \text{diminué de} & 2^m,950 & \text{» } si^b_{-1} \\ \hline & 0^m176 & \end{array}$$

mais, la coulisse étant double, il suffira de la tirer de $\frac{0^m,176}{2} = 0^m,088$ pour obtenir l'abaissement du demi-ton désiré.

Augmentons encore la longueur de l'instrument pour l'accorder avec le la^b_{-1} de 102,6 v. s., ayant pour longueur $3^m,313$. Nous avons, entre la première position et cette dernière, qui est appelée *la troisième position*, un écart de :

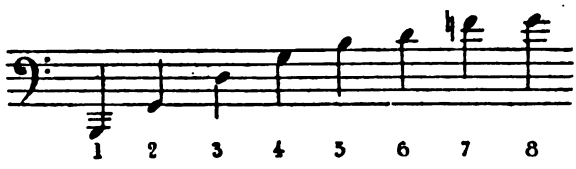
$$\begin{array}{rrl} & 3^m,313 & \text{longueur de } la^b_{-1} \\ \text{diminué de} & 2^m,950 & \text{» } si^b_{-1} \\ \hline & 0,^m363 & \end{array}$$

Notre coulisse devra donc être tirée de $\frac{0^m,363}{2} = 0^m,181$ pour donner les sons suivants :

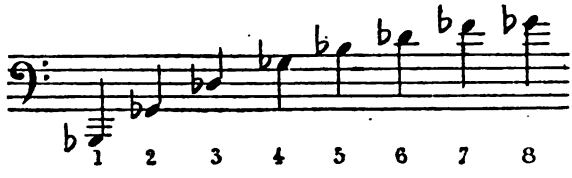


A l'aide du tableau donné page 86 et d'après ce qui précède, il sera facile de calculer l'allongement nécessaire pour produire les autres positions du trombone tenor à coulisse ; elles sont encore au nombre de quatre et donnent les sons suivants :

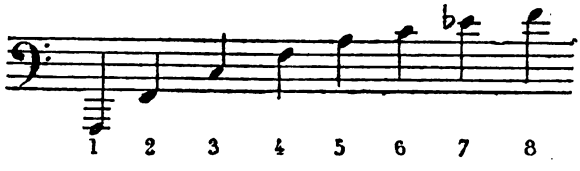
Quatrième position



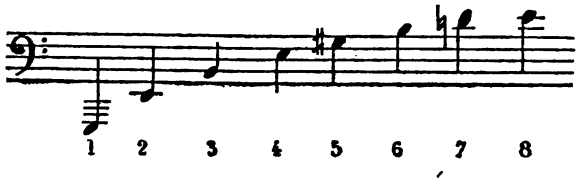
Cinquième position



Sixième position



Septième position



Si nous réunissons tous les sons produits par ces sept positions, nous trouvons que le trombone ténor en *si♭* a une étendue chromatique complète depuis le *mi*, deuxième harmonique de la septième position, jusqu'au *si♭*, huitième harmonique de la première (*). Nous supprimons les sons fondamentaux de chaque position, le diamètre du trombone étant trop étroit par rapport à la longueur de l'instrument, pour permettre de le produire facilement.

Ce que nous venons de dire du trombone ténor s'applique également aux trombones alto et basse.

Nous connaissons le son fondamental de la première position de ces instruments, on trouve les six autres en abaissant progressivement de 6 demi-tons. Quant aux rapports des harmoniques, ils sont toujours les mêmes et ne pourraient être autrement : le deuxième harmonique est régulièrement à l'octave du son premier ou fondamental, le troisième est à la quinte juste du deuxième, le quatrième à la quarte juste du troisième, le cinquième à la tierce majeure du quatrième, etc., etc.

On écrit quelquefois le trombone ténor en *si♭* en se servant, dans la première position, de la notation ordinaire des harmoniques : *do*, *sol*, *do*, *mi*, *sol*, *si♭*, *do*, etc. Cette manière d'écrire devrait être généralement adoptée : l'effet réel serait alors à la seconde majeure inférieure de la note écrite. Il n'y a aucune raison qui légitime la différence employée dans la manière d'écrire pour le trombone.

3° INSTRUMENTS A CLEFS.

Le système des clefs a donné naissance à toute une famille

(*) On parvient, par un plus grand allongement de la coulisse, à produire un *mi♭* grave, deuxième harmonique d'une huitième position.

d'instruments, dont les principaux sont : le petit cor à clefs (*) en *mi* ♭, le cor à clefs en *si*♭, l'ophicléide alto en *mi*♭, l'ophicléide basse en *ut*, l'ophicléide basse en *si*♭. Ces instruments, dont la sonorité et la justesse laissent beaucoup à désirer pour les raisons que nous allons exposer, sont presque entièrement abandonnés aujourd'hui, ils ont été remplacés par les instruments à pistons qui composent la famille des bugles.

Il nous suffira d'examiner le principal des instruments de cette catégorie, pour nous familiariser avec la théorie sur laquelle repose leur construction : nous analyserons donc le **COR A CLEFS** en *si*♭.

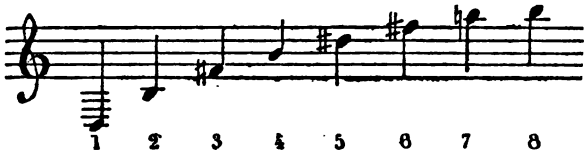
Cet instrument est armé de 6 clefs dont la première est ouverte, et les cinq autres fermées. Il est représenté par la figure suivante :

En fermant la première clef, c'est-à-dire la clef ouverte, l'instrument est dans de bonnes conditions de sonorité et de justesse, parce que la colonne d'air vibre depuis l'embouchure

(*) Le cor à clefs porte aussi le nom de *trompette à clefs*.

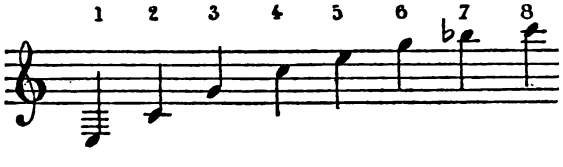
jusqu'à l'extrémité du pavillon, condition nécessaire aux instruments de cuivre.

Les sons obtenus se notent toujours d'après l'ordre de la succession des harmoniques, ainsi :



Seulement, le *si*, son fondamental s'accorde, l'instrument étant en si^b, avec la seconde majeure inférieure de la note écrite, et conséquemment, la longueur qui sert de base réelle à la construction de l'instrument est le la_1, de 217,5 vibrations et mesure $1^m,563$.

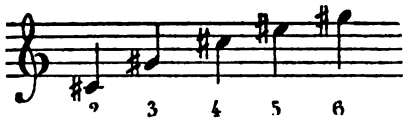
Si nous suspendons l'emploi de la clef n° 1, celle-ci s'ouvre au moyen d'un ressort, et l'ouverture de la clef est placée de façon à ce que la colonne d'air se raccourcisse d'un demi-ton. Le son fondamental devient donc le $si^b{}_1$ de 230,5 v. s., et la longueur théorique depuis l'embouchure jusqu'au milieu du trou latéral est de $1^m,475$. Les harmoniques obtenus au moyen de l'ouverture de cette clef, l'effet réel étant à la seconde majeure inférieure de la note écrite, se désignent ainsi :



Par l'ouverture de cette clef, l'air du tuyau est mis en rapport

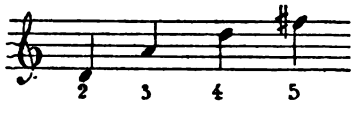
avec l'air extérieur, et, en vertu de la théorie que nous avons vue précédemment, un ventre de vibration s'établit à cette ouverture latérale. Mais, par suite de cette ouverture, la régularité des proportions est interrompue et les harmoniques ne sont plus dans les mêmes conditions favorables de sonorité et de justesse que ceux obtenus par l'ébranlement du tuyau entier.

Ouvrons la deuxième clef, son emploi raccourcit l'instrument d'un demi-ton. Nous trouverons aisément le placement théorique de cette clef si nous avons compris ce qui précède. Les sons que nous obtiendrons s'écrivent :

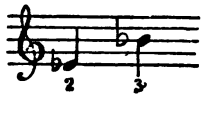


Le son 1 est généralement abandonné pour toutes les clefs, et pour la deuxième nous ne notons que les harmoniques 2, 3, 4, 5, 6, obtenus par l'ouverture, parce que les autres manquent de justesse.

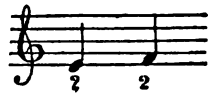
Par l'ouverture de la troisième clef, nous obtenons les sons :



Comme on le voit, le nombre des harmoniques se réduit de plus en plus par suite des défauts progressifs de proportion de la colonne d'air. La quatrième clef ne donne plus que les harmoniques :



Il nous manque, pour former une gamme chromatique complète, depuis le *si*, deuxième harmonique de l'instrument tout fermé jusqu'à l'*ut*, huitième harmonique de l'instrument avec la première clef ouverte, les notes :



à la production desquelles nous destinons la cinquième et la sixième clef, donnant chacune leur deuxième harmonique.

La théorie que nous avons développée pour le cor à clefs, est la même pour tous les autres instruments de cette catégorie.

Il est bon cependant de faire remarquer que les ophicléides alto et basse ont un diamètre de tuyau suffisamment grand pour permettre l'emploi convenable du son fondamental et que, pour relier celui-ci au deuxième harmonique du même tuyau vibrant avec toutes les clefs fermées, il est nécessaire d'employer onze clefs dont chacune hausse le tuyau d'un demi-ton, établissant ainsi onze sons fondamentaux intermédiaires. Grâce à cette différence du nombre de clefs, l'ophicléide possède toute une octave grave de plus que le cor à clefs.

Les harmoniques de l'ophicléide s'écrivent à la clef de *fa*. En supposant l'ophicléide basse en *ut*, nous aurons une étendue depuis le si_{-1}, son fondamental du tuyau, avec toutes les clefs fermées, jusqu'à l'ut_4 huitième harmonique du tuyau avec la première clef ouverte.

Il est nécessaire de se rappeler que le deuxième harmonique obtenu par tous les instruments de cette catégorie, la *première clef étant ouverte*, est celui qui permet de déterminer la tonalité. Ainsi, cet harmonique, qui se note toujours *ut*, nous permettra de dire que l'instrument est en si^b, en *ut* ou en mi^b, s'il a pour effet réel un si^b, un *ut* ou un mi^b.

La longueur théorique dont nous nous sommes servi pour déterminer les raccourcissements nécessaires de la colonne d'air, ne se concilie pas exactement avec la pratique. Pour accorder celle-ci avec la théorie, il nous faudrait entrer dans des détails particuliers à la facture instrumentale, détails qui s'écartent trop du cadre que nous nous sommes tracé. Du reste, pour le musicien, auquel le travail qne nous avons entrepris est destiné, cette différence est parfaitement négligeable : elle se traduit ordinairement par des quantités très-petites, et faciles à déterminer pour celui qui voudrait examiner plus minutieusement les rapports de la facture instrumentale avec la théorie acoustique.

4° INSTRUMENTS A PISTONS (*).

L'invention des pistons a complétement révolutionné la facture instrumentale; grâce à cette heureuse innovation, les instruments de musique désignés ordinairement sous le nom d'*instruments de cuivre*, ont pu remplir à l'orchestre un rôle convenable, en rapport avec leur importance. On a dit, comme de toute nouveauté, beaucoup de mal des pistons ; on s'est plu surtout à répandre l'idée qu'ils avaient détruit le timbre des instruments naturels. Or, le piston augmente tout

(*) Ce que nous exposons à propos des *pistons* s'applique en tous points aux cylindres. Les mécanismes diffèrent de formes, mais produisent des résultats identiques.

Nous ne pourrions trop nous élever contre la coutume inexcusable qui consiste à remplacer par la désignation du mécanisme le nom de l'instrument lui-même. Ainsi il n'est pas rare de rencontrer des expressions semblables: 1er *piston solo de...* (au lieu de 1er *cornet solo de...*) ou 1er *cylindre* (au lieu de *première trompette*). Nous nous rappelons même un concert, donné il y a quelque temps, dont le programme promettait un duo pour *piston et cylindre !!*

Ne désespérons pas. Un jour peut-être, un clarinettiste habile nous offrira-t-il un solo de 13 clefs!

simplement la longueur de l'instrument absolument comme le ferait un ton de rechange; nous nous expliquerions difficilement dès lors de quelle manière le piston pourrait dénaturer le timbre plus que le ton de rechange, puisqu'il remplit les mêmes fonctions. Certes, dans les commencements de la fabrication des pistons, il y avait bien quelque chose à dire; mais aujourd'hui, la facture s'est perfectionnée, l'abaissement d'un piston n'amène pas plus de courbes, ne produit pas plus de rétrécissements dans le tuyau, que ne le ferait l'application d'un ton de rechange; nous pouvons dire hardiment que non-seulement on n'a rien ôté aux qualités des instruments anciens, mais qu'on les a améliorés au point d'en faire des instruments *presque* parfaits. Nous appuyons sur le mot *presque*, parce que la perfection complète n'est et ne sera jamais atteinte.

La condition essentielle d'un piston est de tenir l'air hermétiquement, car si l'air s'échappait entre les parois, autant vaudrait souffler dans un instrument troué. L'usure des pistons est assez rapide; c'est pourquoi un instrument fort employé devient à la longue dur et faux. A ce propos, il existe un préjugé assez répandu : on croit qu'un bon instrument peut être rendu faux par un élève. Cela peut arriver en effet, si l'élève maltraite les pistons ou s'il laisse les tuyaux s'encrasser intérieurement; mais il est matériellement impossible de fausser un instrument par le souffle, quelque mauvais et inexpérimenté que puisse être l'instrumentiste. Nous l'avons dit, l'exactitude des rapports entre les harmoniques, condition principale de la justesse, dépend des proportions du tuyau, or il est évident que les rapports donnés par le facteur ne pourraient être détruits, à moins d'admettre la possibilité d'élargir ou de rétrécir un tuyau par le souffle.

Le préjugé contraire est presque aussi répandu. Combien de fois n'avons-nous pas entendu dire : Telle note est fausse, mais nous la corrigerons à la longue; telle note était fausse lorsque nous avons acheté l'instrument, mais la fermeté de notre embouchure nous a permis de corriger ce défaut de fabrication.

Toutes ces idées n'ont d'autre fondement que l'imagination, et disparaitraient si les musiciens se familiarisaient avec les véritables principes de la confection de l'instrument auquel ils consacrent une partie de leur existence. Malheureusement, l'esprit d'initiative n'existe pas encore, et son absence cause inévitablement les mille erreurs qui font d'un instrument de musique un de ces objets dont la bonne construction ne peut être due qu'au hasard. Cependant, il n'en est pas ainsi pour la facture des instruments de musique ; elle repose, au contraire, sur des bases certaines, sur des règles absolues, sur la science acoustique enfin.

Revenons aux pistons.

Nous le répétons, les pistons ont été appliqués aux instruments naturels, soit pour combler les lacunes de leur échelle chromatique, soit pour corriger les défauts de justesse qui existent, suivant notre système tonal, dans les rapports entre les harmoniques. On réunit 2, 3, 4 et 6 pistons, sur un même instrument.

Le principe de l'application des deux pistons repose sur les mêmes bases que celles que nous allons décrire pour l'emploi des pistons en nombre plus considérable. On a renoncé au système des deux pistons parce qu'il ne permettait pas de compléter l'étendue chromatique de l'instrument.

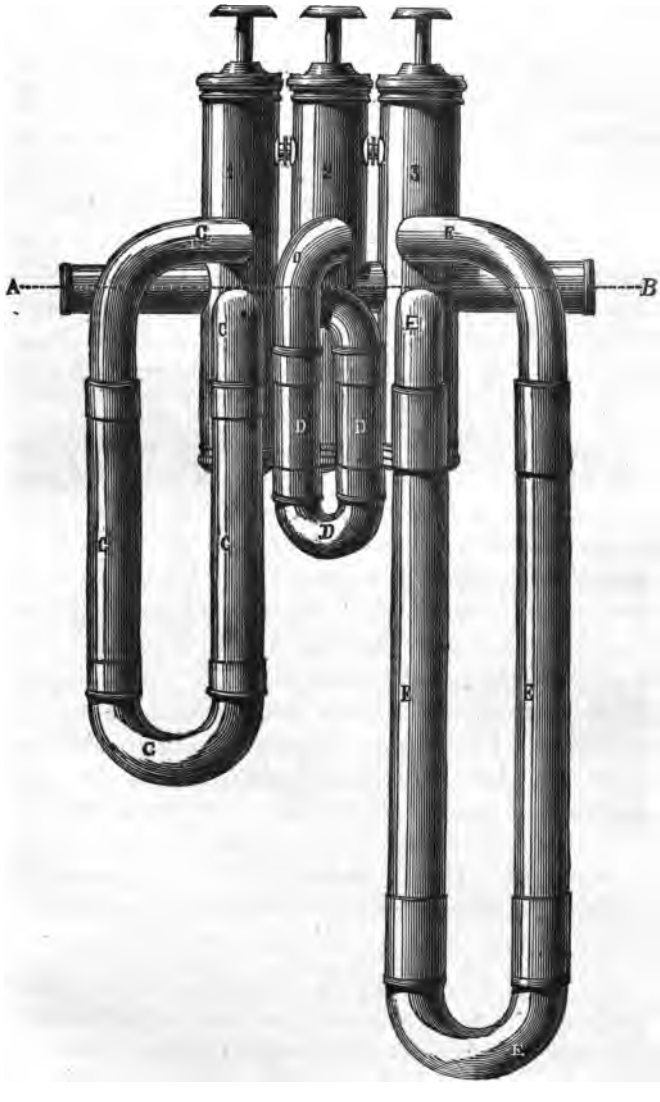
Le système à trois pistons s'applique aux instruments dont l'emploi se limite, au grave, à la production du deuxième harmonique.

Le mécanisme des pistons est d'une simplicité extrême, la figure (voir page 121) nous le fera comprendre.

Supposons un instrument simple, dans le tuyau duquel nous avons introduit ce que nous appelons *un jeu de pistons*.

Si nous soufflons dans l'instrument sans toucher aux pistons, la colonne d'air suivra son cours régulier, par la ligne AB, et notre instrument simple n'aura subi aucun changement. Mais abaissons le premier piston, que se passe-t-il ? Le piston est construit de telle façon que l'air, au lieu de suivre

la ligne droite AB, entre en A comme à l'ordinaire, mais parcourt tout le tuyau C, auquel on donne une longueur déter-



minée, habituellement d'un ton. Après avoir parcouru cette longueur supplémentaire, l'air entre dans le deuxième piston, qu'il traverse en ligne droite, pour parcourir la suite de la ligne AB.

Conséquemment, aussi longtemps que le doigt abaisse le premier piston, l'instrument sera un ton plus bas que l'instrument primitif sans pistons. Lâchons le premier piston et abaissons le deuxième: l'air arrivera en A, traversera le premier piston en ligne droite, mais, arrivé au deuxième piston, il sera obligé, par une disposition spéciale, de parcourir en entier le tuyau D, qui y est attaché. La longueur de ce tuyau est ordinairement calculée pour produire un allongement, conséquemment un abaissement, d'un demi-ton. Nous avons donc un instrument un demi-ton plus bas que l'instrument primitif sans pistons.

Remontons le deuxième piston et abaissons le troisième: l'air traversera le premier et le deuxième piston toujours en ligne droite; arrivé au troisième, il sera obligé de parcourir le tuyau E attaché au piston et dont la longueur est calculée de façon à produire un allongement d'un ton et demi. L'instrument primitif sera abaissé de tout cet intervalle aussi longtemps que le troisième piston restera descendu.

Ce système permet d'abaisser aussi les pistons simultanément, de façon à produire des allongements de tuyau qui correspondent à l'addition des longueurs des tubes additionnels appliqués aux pistons. En procédant ainsi, nous obtenons les allongements suivants :

$\frac{1}{2}$	ton :	abaissement	du	2e	piston.
1	»	»	du	1er	»
1 $\frac{1}{2}$	»	»	du	3e	»
2	»	»	des	2e et 3e	pistons réunis.
2 $\frac{1}{2}$	»	»	des	1er et 3e	»
3	»	»	des	1er, 2e et 3e	»

Cette théorie renferme l'explication du doigté de tous les instruments en cuivre (*).

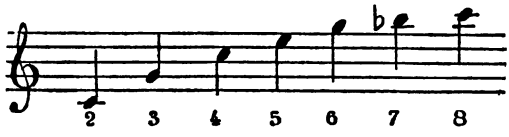
L'explication pratique qui va suivre démontrera d'une manière claire et précise tout ce que notre démonstration pourrait avoir laissé dans l'oubli.

Prenons pour notre analyse l'instrument le plus répandu : le cornet.

Ce que nous en dirons s'applique à tous les instruments à pistons, la formation de leur gamme est identique.

Le cornet à pistons se construit avec plusieurs tons de rechange ; mais prenons-le avec son ton de *si*^{b}. D'après le tableau donné page 86, sa note fondamentale (non usitée) est le *si*$^b{}_1$ de 230,5 v. s. et sa longueur théorique est de 1^m,475.

Ne touchons pas aux pistons. En soufflant dans l'instrument, nous pouvons produire les harmoniques suivants, qui, n'oublions pas que le son fondamental ne s'emploie pas, se notent ainsi :



Le premier piston amène par son emploi l'abaissement d'un ton majeur, c'est-à-dire qu'en appuyant sur ce piston, la colonne d'air, au lieu de suivre son parcours primitif, est allongée suffisamment pour produire l'abaissement désiré.

L'instrument étant en *si*^{b}, l'effet réel se produit à la seconde

(*) Quelques systèmes d'instruments ont été basés sur un mode de pistons ascendants. Le principe est le même, la construction est renversée. Lorsque le piston est levé, l'air parcourt le tuyau additionnel ; lorsqu'on l'abaisse, l'air suit au contraire la ligne droite.

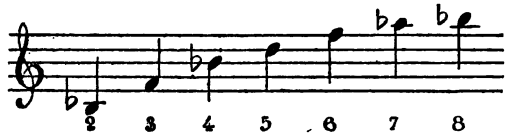
majeure grave de la note écrite. Il faudra, conséquemment, que le premier piston allonge l'instrument de telle sorte que le son fondamental devienne le $la^{b}{}_{1}$ de 205,25 v. s., d'une longueur théorique de $1^{m},656$.

Si nous déduisons de $1^{m},656$ la longueur de l'instrument primitif, nous avons pour longueur du tube additionnel présenté par le premier piston $0^{m},181$

$1^{m},656$ longueur du $la^{b}{}_{1}$
$1^{m},475$ » $si^{b}{}_{1}$

$0^{m},181$

Les harmoniques obtenus en soufflant dans l'instrument se noteront, en conservant l'effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite :



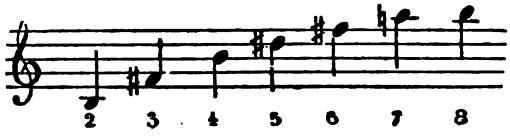
Le deuxième piston est muni d'un tube additionnel calculé de façon à produire l'abaissement d'un demi-ton.

D'après la méthode que nous avons suivie pour le premier piston, la longueur nécessaire pour produire cet abaissement est de :

$1^{m},563$ longueur du la_{1}
$1^{m},475$ » $si^{b}{}_{1}$

$0^{m},088$ longueur du tube additionnel.

Les harmoniques obtenus se noteront :

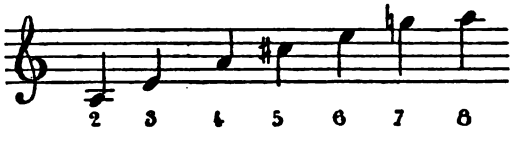


Le troisième piston a pour but d'abaisser l'instrument d'une tierce mineure. Le tube additionnel nécessaire sera donc de

$1^m,754$ longueur de sol_1
$1^m,475$ » $si\flat_1$

$0^m,279$

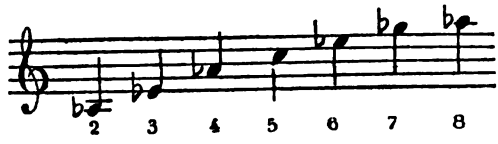
Les harmoniques s'écriront :



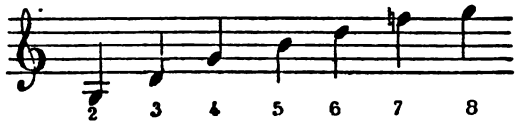
Mais l'abaissement alternatif de ces trois pistons ne nous donne pas une gamme chromatique complète ; nous avons vu, dans la théorie du trombone à coulisse, que sept positions sont nécessaires, et nous n'en avons encore que quatre.

La construction nous permet l'abaissement de plusieurs pistons à la fois, nous trouvons donc les trois autres positions par la combinaison des tubes additionnels.

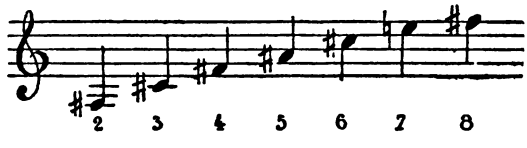
Le deuxième et le troisième pistons réunis nous fourniront l'abaissement d'une tierce majeure ($1\frac{1}{2}$ ton, plus $\frac{1}{2}$ ton = 2 tons). Par ce moyen, nous obtiendrons les harmoniques :



Le premier et le troisième piston réunis, 1 ton, plus 1 $\frac{1}{2}$ ton roduiront un abaissement de quarte juste 2 $\frac{1}{2}$ tons :



Les trois pistons réunis, 1 ton, $\frac{1}{2}$ ton, 1 $\frac{1}{2}$ ton produisent un abaissement de quinte mineure, 3 tons :



Cette fois, nous avons nos sept positions et une étendue complète entre *fa* dièse, deuxième harmonique des trois pistons réunis, et *do*, huitième harmonique de l'instrument sans pistons.

En examinant le doigté que fournit l'emploi des pistons, nous trouvons différentes manières de produire la même note. Nous allons voir qu'il est préférable de prendre toujours le doigté le plus simple pour obtenir le plus de justesse.

Le premier piston a un tube additionnel . . .	$0^m,181$.
Le deuxième en a un de.	$0^m,088$.
Ensemble pour produire l'abaissement de 1 $\frac{1}{2}$ ton .	$0^m,269$.
Mais, l'instrument sans pistons étant accordé, au *si*$^b{}_1$, ayant pour longueur	$1^m,475$.
il nous faudra, pour produire un abaissement de 1 $\frac{1}{2}$ ton, une longueur de	$0^m,279$
puisque nous savons, par le tableau page 86, qu'un instrument ayant pour son fondamental *sol*$_1$, exige une longueur de	$1^m,754$

De ce qui précède, il est évident que tous les sons résultant de l'emploi simultané des premier et deuxième pistons seront trop hauts (*) leur réunion ne donnant qu'une longueur de $0^m,269$.

(*) On se demandera peut-être comment il se fait qu'on n'obtienne pas la longueur nécessaire à produire l'abaissement de 1 $\frac{1}{2}$ ton en additionnant les longueurs qui conviennent à produire respectivement l'abaissement de ton et de demi-ton.

Voici pourquoi :

Le son fondamental de l'instrument sans pistons est le *si*$^b{}_1$ de $1^m,475$. Ce son devient, par l'emploi du premier piston, le *la*$^b{}_1$ de $1^m,656$. Pour obtenir l'abaissement de 1 $\frac{1}{2}$ ton par les deux premiers pistons, *il ne nous reste que le tube additionnel nécessaire pour abaisser d'un demi-ton un instrument en si*^{b} *et non pas celui qu'il faudrait pour produire le même effet sur un instrument en la*^{b}, *tel que nous l'avons obtenu par l'emploi du premier piston.* Telle est la raison du défaut de justesse que nous cherchons à expliquer, et qui existe partout où plusieurs pistons sont employés simultanément.

En effet, n'ayant pas d'autre longueur à notre disposition que celle que nous offre le 2e piston accordé en *si*^{b} — car nous devons conserver le rapport de 1/2 ton tempéré entre les harmoniques de l'instrument sans piston et ceux de l'instrument abaissé par le 2e piston — additionnons la longueur de l'instrument donnant le *la*^{b} à la longueur du tube addition-

Ce défaut de justesse augmente au fur et à mesure que l'on emploie les pistons dont les tubes additionnels, sont les plus longs.

La réunion des deuxième et troisième pistons procure, pour un abaissement de tierce majeure, une longueur additionnelle de

$$0^m,088 + 0^m,279 = 0^m,367.$$

tandis que pour obtenir une justesse parfaite, il nous faudrait, d'après le tableau, $0^m,384$.

car $1^m,859$, longueur du *fa* dièse$_1$
diminué de $1^m,475$, » *si*$^b{}_1$
donne $0^m,384$

Le premier et le troisième pistons réunis ne nous donnent qu'une augmentation de longueur de

$$0^m,181 + 0^m,279 = 0^m,460,$$

nel ajoutée au 2e piston et que nous avons trouvée égale à $0^m,088$. Nous avons :

$$1^m,656 + 0^m,088 = 1^m,744.$$

Le son fondamental *sol*$_1$, exigeant une longueur de $1^m,754$, nous trouvons qu'il nous faudrait 10 millimètres de plus pour produire le *sol* et ses harmoniques dans un rapport exact de tierce mineure tempéré avec le *si*$^b{}_1$, point de départ.

Si, procédant d'une autre façon, nous produisons d'abord le son fondamental *la*$_1$, d'une longueur de $1^m,563$ par l'abaissement du deuxième piston, nous arrivons au même résultat ; car, si nous l'ajoutons à la longueur de tube additionnel que nous avons trouvé nécessaire au premier piston, nous avons :

$$1^m,563 + 0^m,181 = 1^m,744$$

c'est-à-dire qu'il nous manque également dix millimètres pour produire le son fondamental *sol* $_1$, et et ses harmoniques avec la justesse requise.

Observons que, dans l'explication qui précède, nous nous sommes servi, pour désigner les sons, de l'effet réel et non de la note écrite.

or, le tableau de la page 86 nous prouve que pour obtenir l'abaissement de quarte juste, il faudrait une longueur de $0^m,494$;

car $1^m,969$ longueur de fa_1
diminué de $1^m,475$ » $si^b{}_1$
donne $0^m,494$

L'écart obtenu par l'emploi simultané des trois pistons est plus grand encore. En effet, la longueur des trois tubes additionnels réunis nous donne :

$$0^m,181 + 0^m,088 + 0^m,279 = 0^m,548,$$

longueur insuffisante pour effectuer l'abaissement de quinte mineure, puisque pour produire cet intervalle exactement, il faudrait un tube additionnel de $0^m,612$:

$2^m,087$ longueur de mi_1
diminué de $1^m,475$ » $si^b{}_1$
donne $0^m,612$

Il est donc prouvé que le doigté le plus simple doit toujours être employé de préférence, parce qu'il se rapproche le plus de la longueur de tuyau nécessaire à l'intonation désirée.

Dans les instruments dont le tuyau est conique sur toute la longueur, ce n'est pas sans causer une irrégularité dans le parcours de la colonne d'air, que l'on intercale des tubes additionnels dont la forme est nécessairement cylindrique ; ces tubes devant pouvoir s'allonger au moyen d'une coulisse, ainsi que nous le verrons plus loin.

On a essayé, pour obvier à cet inconvénient, d'établir le parcours conique sur la plus grande longueur des tubes additionnels et de restreindre la partie cylindrique à la coulisse qui les termine ; l'irrégularité de la colonne d'air n'en est pas moins grande, puisque les tubes additionnels diffèrent de longueur et que l'espace compris entre l'entrée et la sortie des

pistons est forcément invariable. La colonne d'air change donc de proportions chaque fois que l'on emploie un autre piston, et ces différences ne se produisent pas sans altérer la justesse des harmoniques. L'irrégularité croît naturellement en raison de l'abaissement occasionné par le tube additionnel; que cet abaissement soit produit à l'aide d'un ou de plusieurs pistons, peu importe.

Nous venons de dire qu'une coulisse est absolument nécessaire aux tubes additionnels des pistons.

Elle est indispensable, non-seulement pour retirer l'eau provenant de la condensation de la vapeur qui accompagne le souffle, mais encore parce que les instruments à pistons qui se servent de ton de rechange, donnent à la coulisse une importance que nous allons examiner :

Reprenons notre cornet en *si*^{b}, et rappelons-nous que nous avons trouvé pour longueur du tube additionnel appliqué au 1er piston, 0^m,181 ; au 2e piston, 0^m,088 ; au 3e piston 0^m,279. Ces longueurs représentent respectivement 1 ton, un $\frac{1}{2}$ ton, 1 $\frac{1}{2}$ ton.

Au moyen d'un ton de rechange, mettons notre cornet en *la*^{b}, c'est-à-dire, allongeons l'instrument de façon à ce que le son fondamental (non employé) soit réglé sur le *la*$^b_1$ de 205,25 vibrations simples : la longueur théorique de l'instrument sera de 1^m,656.

Dans cette tonalité, quelle doit être la longueur de chacun des tubes additionnels pour qu'ils soient en rapport avec cet abaissement? Le tableau de la page 86 va nous renseigner.

1^m,859, longueur du *sol*$^b_1$
diminué de 1^m,656 » *la*$^b_1$

donne 0^m,203, pour l'abaissement de 1 ton (1er piston).

1^m,754 longueur de *sol*$_1$
diminué de 1^m,656 » *la*$^b_1$

donne 0,^{m}098 pour l'abaissement de $\frac{1}{2}$ ton (2me piston).

$1^m,969$ longueur de fa_1
diminué de $1^m,656$ » $la^b{}_1$

donne $0^m,313$ pour l'abaissement de $1\frac{1}{2}$ ton (3me piston)

Établissons la différence des longueurs qui nous sont

	1er piston	2e piston	3e piston
nécessaires avec le ton de la^b . .	$0^m,203$ —	$0^m,098$ —	$0^m,313$
avec celles que nous avions pour le son de si^b.	$0^m,181$ —	$0^m,088$ —	$0^m,279$
nous trouvons qu'il faut allonger pour produire des tubes additionnels en rapport avec le ton de la^b employé, de	$0^m,022$ —	$0^m,010$ —	$0^m,034$

La coulisse s'allongeant de deux côtés à la fois, il est naturel qu'elle ne devra être tirée que de la moitié de ces différences.

D'après ce que nous venons de voir, il est évident que la longueur des tubes additionnels doit être réglée proportionnellement à la longueur des tons de rechange. Cela se pratique-t-il ? Le plus souvent, non. Et l'on s'étonne alors que les instrumentistes jouent faux ! Lorsque, par exception, l'on établit ces proportions, on le fait mal, parce qu'on ignore le motif de cet accord, et qu'on se règle sur l'oreille seule, secours bien souvent trompeur en ce cas.

Les artistes qui s'occupent de l'enseignement des instruments de cuivre devraient expliquer à leurs élèves la théorie en même temps qu'ils leur montrent la pratique. C'est le seul moyen à employer pour obtenir des résultats sérieux.

Lorsqu'on règle l'accord d'un instrument de cuivre sur un diapason ou sur tout autre instrument qui en tient lieu, il faut autant que possible chercher à obtenir cet accord à l'aide des harmoniques de l'instrument naturel, et non pas au moyen des

sons produits par l'intermédiaire des pistons, si l'on veut éviter les désagréments sérieux.

Supposons, pour nous mieux faire comprendre, un instrument en *sol*, le cornet à pistons par exemple. Il faudra, pour produire le son à l'unisson du *la*, note d'accord de l'orchestre, que le cornet donne le *ré*, cinquième harmonique du premier piston. Or, si, ce qui n'arrive que trop fréquemment, le tube additionnel ne se trouve pas allongé dans la proportion nécessaire au ton de *sol*, le cornet paraîtra trop haut. Pour le mettre d'accord, on l'abaissera au moyen de la coulisse d'accord général adaptée à chaque instrument pour compenser les petites variations de diapason qui existent entre les orchestres, et l'on finira par mettre le *ré* de l'instrument en *sol* à l'unisson du *la* de l'orchestre. Cet accord n'est qu'apparent, car il n'est réglé que pour les sons produits par le premier piston. L'instrument naturel ayant été abaissé mal à propos par la coulisse d'accord général, sera devenu trop bas, on jouera faux et l'on n'expliquera ce qui arrive que par les défauts inhérents aux instruments de cuivre, cela va de soi!...

Cependant il est facile de contrôler l'exactitude de la longueur des tubes additionnels, en comparant les sons obtenus par leur emploi avec les harmoniques de l'instrument, sans pistons.

Ainsi, en abaissant le premier piston, le quatrième harmonique *si*♭ devra être à l'octave inférieure du septième harmonique obtenu sans pistons. (On ne doit pas oublier que ce dernier est toujours un peu bas.) Pour les cors et les trompettes, on peut se guider plus sûrement en accordant le cinquième harmonique *ré* à l'octave inférieure du son 9ᵉ obtenu sans pistons.

On contrôle l'exactitude du troisième piston, qui abaisse d'une tierce mineure la tonalité de l'instrument, en comparant *mi*, sixième harmonique du troisième piston, avec *mi*, cinquième son de l'instrument naturel.

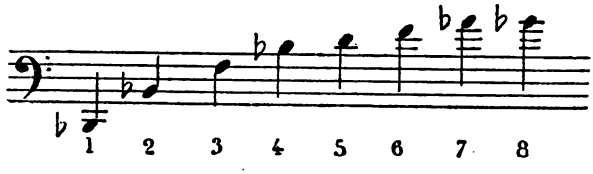
La longueur du tube additionnel appliqué au premier piston

étant déterminée, on obtient la longueur du deuxième, en les abaissant tous deux à la fois. Leur emploi simultané produit un abaissement de tierce mineure trop petit, nous l'avons vu. Conséquemment le son 6 obtenu, *mi*, devra être tenu un peu plus haut que le son 5, *mi*, de l'instrument naturel.

Dans quelques instruments, le troisième piston, au lieu de baisser l'instrument d'une tierce mineure, a une longueur telle que l'abaissement produit est d'une tierce majeure. En ce cas, le son 5 obtenu par ce piston doit s'accorder avec le son 4 de l'instrument naturel.

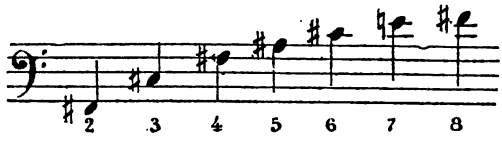
La théorie des pistons est la même pour tous les instruments en cuivre. Le trombone seul semble s'écarter de la règle générale, mais cette exception n'est qu'apparente.

On se rappelle que les parties de trombones à coulisse se notent toujours d'après leur effet réel. Le trombone ténor par exemple, étant construit en *si*^{b}, les sons sans pistons s'écrivent :

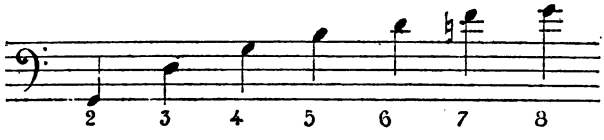


Les premier, deuxième et troisième pistons abaissent respectivement l'instrument de 1, 1/2 et 2 tons, et leur emploi simultané produit les sept positions que nous avons décrites pour le trombone à coulisse.

Le système à quatre pistons s'applique aux instruments dont la colonne d'air a un diamètre assez grand pour permettre l'emploi du son 1. Le principal de ces instruments est le *tuba en si*^{b}. Son quatrième piston abaisse la tonalité d'une quinte mineure et produit conséquemment les sons :



En France, les facteurs ne donnent au quatrième piston qu'une longueur suffisante pour un abaissement de quarte juste qui produit les sons suivants :



La combinaison des quatre pistons fournit les onze positions nécessaires pour relier, avec une justesse plus ou moins parfaite, le son 1 au son 2 de l'instrument naturel, au moyen des onze demi-tons chromatiques qui les séparent. Le doigté qui permet de compléter l'éten due, est semblable à celui des instruments à 3 pistons.

On applique quelquefois aux instruments en cuivre un quatrième piston, non pas pour produire les sons de l'octave grave, mais pour arriver à une justesse plus satisfaisante que par le système à trois pistons. Généralement alors, on donne au quatrième piston une longueur de tube additionnel qui produit l'abaissement de quarte. Les sons obtenus de cette façon sont plus justes que par l'emploi simultané des premier et troisième pistons. Nous en avons exposé la raison.

Les défauts que nous venons de signaler ne pourraient être empêchés, dans le système à trois et à quatre pistons, par une construction spéciale. C'est à l'artiste à y remédier en établissant une sage compensation entre les longueurs de tubes additionnels : il peut y parvenir s'il a le goût, l'oreille et le talent nécessaires.

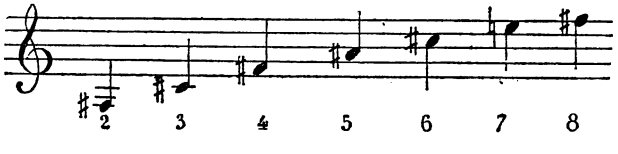
En constatant l'admirable justesse d'exécution de quelques artistes, on se demande, non sans raison, s'il est bien

logique de chercher à améliorer les instruments par des complications de mécanisme que la théorie admet, mais que la pratique rejette comme nuisibles et même dangereuses.

Cette question est des plus importantes au point de vue de l'avenir de la musique instrumentale. Nous ne pouvons la résoudre clairement sans entrer dans une infinité de détails dont l'exposé nous entraînerait trop loin de notre but. Nous avouerons cependant que notre avis, jusqu'à présent du moins, penche vers une solution négative.

Le manque de justesse, conséquence inévitable du système à trois pistons, a été combattu de différentes façons. Un facteur de Paris, M. Ad. Sax, a imaginé un système d'instruments à six pistons dont chacun des tubes additionnels est combiné de manière à produire l'abaissement exact requis par la théorie. Dans ce système, l'emploi sumultané de plusieurs pistons n'est jamais nécessaire.

L'instrument sans pistons donne les harmoniques (*) :

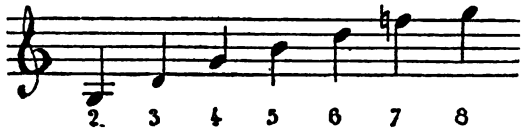


Ces harmoniques sont produits par la vibration de la colonne d'air dans sa plus grande longueur. Remarquons que ce système est absolument opposé au système ordinaire.

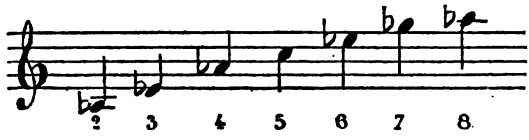
Par l'emploi du sixième piston, la colonne d'air est diminuée d'une longueur telle que l'instrument *hausse* d'un demi-ton.

(*) Cette notation convient aux instruments d'un diapason élevé. Elle est écrite à l'octave inférieure pour la trompette et le cor, et peut l'être aussi en clef de *fa* pour les instruments basses. Les rapports entre les harmoniques sont toujours invariables.

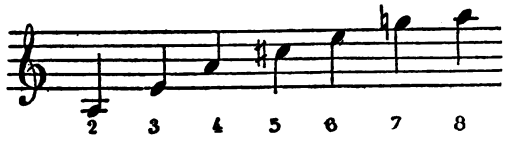
Les harmoniques que l'on obtient sont :



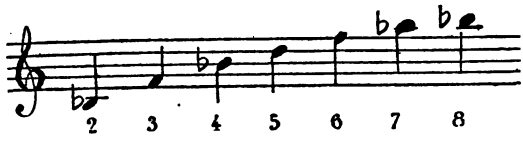
En prenant successivement les autres pistons, il s'opère chaque fois un raccourcissement d'un demi-ton, et conséquemment le cinquième piston donne les harmoniques :



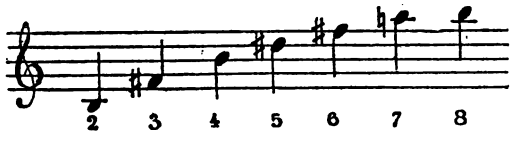
le quatrième piston:



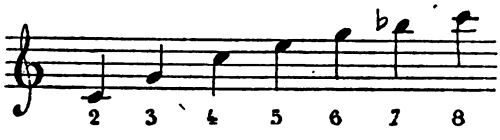
le troisième piston :



le deuxième piston :



le premier piston :

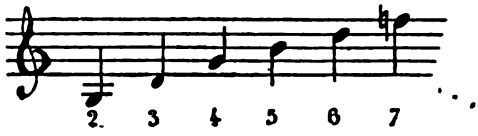


Nous avons supprimé tous les sons 1, parce qu'ils ne sont pas employés dans la plupart des instruments auxquels ce principe a été appliqué.

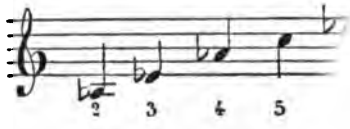
Ce système, désigné sous le nom de *système à six pistons indépendants*, est parfait, si nous l'envisageons du seul côté de la théorie ; il n'est pas un musicien qui ne s'y rallie à première vue. Mais il offre, du côté de la pratique, des difficultés qu'il ne nous appartient pas de démontrer dans ce travail. Il était de notre devoir de présenter le système de M. Sax, en éloignant de notre pensée tout esprit de critique. L'impartialité nous oblige de laisser à l'avenir le soin de faire accepter ou rejeter le système.

Avant de terminer l'article consacré aux instruments de cuivre, il ne sera pas sans intérêt pour le lecteur d'examiner la différence énorme qu'il y a entre la trompette et le cornet à pistons, malheureusement confondus dans presque tous nos orchestres modernes. Non-seulement le timbre de ces deux instruments diffère totalement, puisque le premier est construit avec un tuyau dont la plus grande partie est

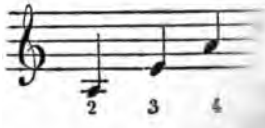
Les harmoniques que l'on obtient sont :



En prenant successivement les autres
chaque fois un raccourcissement d'un dem
ment le cinquième piston donne les harr



le quatrième piston:

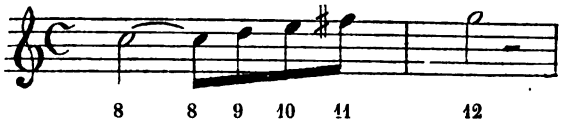


le troisième piston :

12 du même
sur le cornet à
sol, l'artiste doit
posons que pour les
instrumentiste soit en
dont la longueur théo-
dent, *ut*, sera donnée par
harmonique et non plus
se fera en un nombre de
le cinquième harmonique
le premier piston; le *mi*
strument sans pistons; le
se de l'instrument abaissé
piston; enfin le *sol* sera le
naturel.
de ce petit passage fera
le faire les plus longues
conserver la trompette à

cylindrique tandis que le second a une colonne d'air conique d'une extrémité à l'autre; mais ces deux instruments, jouant à l'unisson, produisent des harmoniques dus à un partage du tuyau obtenu dans des conditions très-différentes.

Sur la trompette en *ut*, sans pistons, et dont la longueur théorique est de $2^m,629$, nous pourrons exécuter le passage suivant :



en employant les harmoniques 8, 9, 10, 11, 12 du même tuyau.

Un passage semblable s'exécute de nos jours sur le cornet à pistons. Celui-ci étant ordinairement en *si♭*, l'artiste doit transposer le passage en *ré*. Mais supposons que pour les besoins de l'orchestre de symphonie, l'instrumentiste soit en possession d'un cornet à pistons en *ut*, dont la longueur théorique est de $1^m,314$.

La première note du passage précédent, *ut*, sera donnée par le cornet à pistons comme quatrième harmonique et non plus comme huitième; le partage du tuyau se fera en un nombre de parties moindre de moitié ; le *ré* sera le cinquième harmonique de l'instrument abaissé d'un ton par le premier piston; le *mi* sera le cinquième harmonique de l'instrument sans pistons; le *fa* dièse sera le sixième harmonique de l'instrument abaissé d'un demi-ton par le deuxième piston; enfin le *sol* sera le sixième harmonique de l'instrument naturel.

L'analyse du mode d'exécution de ce petit passage fera mieux comprendre que ne pourraient le faire les plus longues phrases, la nécessité absolue de conserver la trompette à

l'orchestre, là surtout où l'intention évidente du compositeur est de mettre en relief le caractère propre à l'instrument.

Malheureusement, la trompette est un instrument bien plus difficile à jouer que le cornet, parce qu'elle emploie continuellement les harmoniques de l'octave aiguë, où la pression des lèvres exige une délicatesse extrême. De nos jours, où tout semble vouloir se faire *à la vapeur*, on recherche de préférence le cornet, qui s'apprend plus vite, dont l'intonation est beaucoup plus sûre et qui produit les mêmes notes. Du principal, on s'en inquiète fort peu ; on oublie que la différence des timbres est aussi précieuse pour le compositeur que la diversité des couleurs l'est pour le peintre.

Nous compléterons cette étude par l'examen des principaux instruments à pistons.

CORNETS. Nous nous sommes assez longuement occupé de cet instrument en démontrant le mécanisme des pistons.

Nous n'avons plus qu'à compléter ces explications.

Le cornet à pistons en *si*^{b} emploie les tons de rechange suivants :

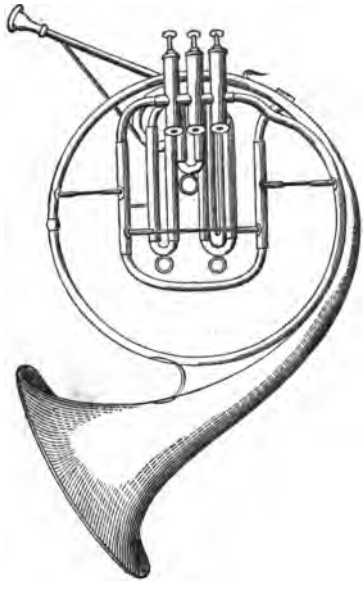
la,	son fondamental	*la*$_1$ de 217.5	vibrations,	longueur	1^m,563.
la^b,	»	*la*$^b_1$ de 205.2	»	»	1^m,656
sol,	»	*sol*$_1$ de 193.7	»	»	1^m,754

Quels que soient les tons employés, les harmoniques s'écrivent comme nous avons eu l'occasion de le voir en étudiant le mécanisme des pistons. L'effet réel est naturellement produit à la seconde majeure, à la tierce mineure, à la tierce majeure, à la quarte, au-dessous de la note écrite, selon qu'on emploie les tons de *si*^{b}, *la*, *la*^{b} ou *sol*.

On se servait anciennement de tons de rechange plus graves; ainsi il n'était pas rare de rencontrer le cornet avec le ton de *mi* (son fondamental *mi*, longueur 2,^{m}087). Ces tons ont été abandonnés parce que la justesse des harmoniques s'altérait au fur et à mesure que disparaissait, par ces allongements exagérés, l'exactitude dans les proportions de la colonne d'air.

On a construit des cornets en *ut* à l'usage des orchestres de symphonie pour éviter les difficultés qui résultent de tonalités trop chargées d'accidents. Les parties écrites pour ces instruments sont exactement à l'unisson de l'effet réel.

CORS. Le mécanisme de ces instruments est semblable à



celui du cornet, c'est-à-dire que les 1er, 2e et 3e pistons baissent respectivement la tonalité de 1, $\frac{1}{2}$, 1 $\frac{1}{2}$ ton et que l'usage simultané de ces pistons fournit les mêmes positions supplémentaires et donne lieu aux mêmes défauts de justesse que ceux que nous avons signalés en décrivant le mécanisme des pistons.

La manière d'écrire est la même que pour le cor simple. Seulement par l'emploi des pistons, le 2e harmonique est relié en sons ouverts au dernier harmonique de la série, par tous les intervalles chromatiques.

Les restrictions que nous avons faites au sujet de l'emploi des harmoniques d'après le ton de rechange employé, s'appliquent, sans exceptions, aux cors à pistons (*).

On ne devrait pas employer de tons de rechange plus graves que le ton de *mi*^{b}. Dans cette tonalité l'abaissement du 3e piston (1 $\frac{1}{2}$ ton) procure les harmoniques du cor simple en *ut* et nous avons examiné les raisons qui s'opposent à l'emploi des sons du cor en dehors de cette limite.

Les sons bouchés du cor simple peuvent s'employer au besoin sur le cor à pistons et donner lieu, si on les fait alterner avec les sons ouverts, à des effets d'écho dont la musique pour cor à pistons peut tirer avantageusement parti.

Il y a deux manières de produire l'écho : la première consiste à exécuter le passage en sons ouverts d'abord, puis en sons *bouchés*, en ayant soin de transposer, à l'aide des pistons, un demi-ton plus haut, pour compenser l'abaissement de demi-ton produit par la fermeture partielle du pavillon. Ce système est le plus avantageux, car il est possible sur toute l'étendue du cor.

(*) Par suite de l'ancienne habitude d'opérer la fermeture partielle du pavillon par la main droite, on a été obligé de confier à la main gauche le mouvement du mécanisme des cors à pistons. Il serait cependant à désirer que le rôle des mains fût interverti, car il est évident que la main droite, à moins que l'exécutant ne soit gaucher, est plus apte à exécuter les mouvements rapides des pistons.

La seconde manière consiste à exécuter le passage en écho, en introduisant la main dans le pavillon, et à augmenter l'abaissement ainsi produit en le portant à *un ton* par l'emploi du deuxième piston. L'unisson du passage, en sons ouverts et en sons bouchés, est obtenu parce que l'exécutant transpose, sans s'en rendre compte peut-être, en se servant des harmoniques du rang immédiatement supérieur.

Supposons que nous ayons à repoduire en écho, les harmoniques 8, 9, 10, *do*, *ré*, *mi*, de l'instrument naturel. L'abaissement du ton que nous avons obtenu, produit un cor en *si*♭ dont les harmoniques bouchés 9, 10, 11, *do*, *ré*, *mi* se trouvent à l'unisson des harmoniques 8, 9, 10 de l'instrument naturel.

Pour obtenir ce second effet d'écho, il est nécessaire que les harmoniques à employer se succèdent en rapport de ton, relation qui existe à *peu près* dans les sons de l'octave aiguë à laquelle ces effets d'écho doivent être restreints. On arrive cependant à les étendre aux sons 6, 7 en les abaissant un peu plus, par l'influence de l'embouchure et de la main, pour les mettre à l'unisson des harmoniques 5, 6 de l'instrument naturel.

Cette dernière façon de produire l'écho est usitée par beaucoup d'instrumentistes.

TROMPETTES. Les relations que nous venons d'établir entre le cor à pistons et le cor simple, sont de nature semblable entre la trompette à pistons et la trompette simple.

Le ton de rechange le plus grave à employer ne doit pas dépasser le *mi*♭ ou le *ré* pour les mêmes raisons que celles que nous avons indiquées en parlant du cor. La disparition complète de la trompette de nos orchestres de symphonie est malheureusement aujourd'hui un fait accompli ; à moins de mesures énergiques, cet instrument ne reprendra jamais la place importante qu'il occupait jadis dans l'orchestration et dont l'œuvre des grands maîtres nous offre le témoignage. Actuellement le timbre vulgaire du cornet semble être destiné à remplacer partout le timbre énergique de la trompette.

En attendant que les remèdes à cette situation, si déplora-

ble pour l'art, soient appliqués, nous avons essayé, dans la mesure de nos moyens, d'atténuer le mal par la construction

d'instruments, reproduisant à *peu près* le timbre de la trompette, tout en conservant la facilité d'exécution du cornet à pistons. Nous avons obtenu un résultat assez satisfaisant par les deux instruments suivants :

Petite trompette en si^b. Elle est construite dans des proportions très étroites, le tube est cylindrique sur plus des deux tiers de la longueur ; le timbre est clair, éclatant au besoin, pour les harmoniques des octaves moyennes et aiguës; mais il manque un peu de puissance pour les sons de l'octave grave.

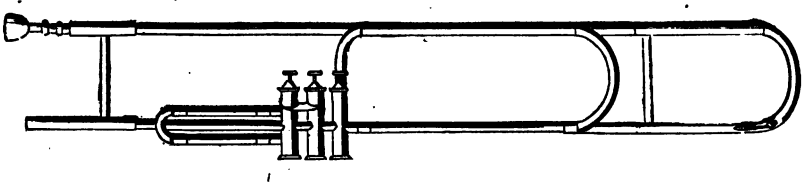
Cet instrument, basé sur des longueurs de tuyaux semblables à celle du cornet en *si*^{b}, possède le même mécanisme, les mêmes tons de rechange, et la manière d'écrire ne diffère pas de celle de ce dernier instrument. Les artistes habitués à jouer les par-

ties de trompette sur le cornet n'éprouvent aucune difficulté à se servir de la trompette en *si*^{b}, et il en résulte un grand avantage au point de vue du coloris de l'orchestration dans la détermination duquel le timbre de la trompette joue un rôle si important.

Petite trompette en ré. La difficulté d'exécuter les œuvres de Handel et de Bach avec la véritable *trompette en ré* nous a suggéré l'idée de construire un instrument exactement à l'octave de cette dernière en prenant pour son fondamental le *ré*$_2$ de 290,2 vibrations d'une longueur théorique de 1^{m},171. En adoptant le tube cylindrique et en lui donnant des proportions très-étroites, le timbre particulier de la trompette a été assez heureusement conservé et les sons de l'octave aiguë de la trompette véritable, sont remplacés par ceux de l'octave moyenne de la petite trompette en ré. Ainsi en supposant que le petit passage que nous avons donné, page 138, soit écrit pour une trompette en *ré*, il deviendrait extrêmement facile de l'exécuter par la petite trompette en *ré* en le jouant ainsi que nous l'avons désigné, à la même page, en parlant du cornet. Au contraire, ce passage exécuté par la véritable trompette serait assez difficile. Bach et Handel écrivaient jusqu'au 16e harmonique lequel devient le 8e pour le nouvel instrument. La petite trompette en *ré* possède un jeu de pistons semblable à celui que nous avons décrit pour le cornet; le doigté est donc semblable à celui de ce dernier instrument et les harmoniques s'écrivent de même. L'effet réel est à la seconde majeure supérieure de la note écrite.

TROMBONES. Ces instruments sont représentés par la figure suivante, mais le dessin en est incomplet; l'instrument se termine par un pavillon semblable à celui du trombone à coulisse (voir page 109). Il ne sera peut-être pas inutile de faire remarquer ici que les dessins que nous donnons ne sont pas toujours suivis. Ces formes varient d'un facteur à l'autre et elles n'ont aucune influénce ni sur le timbre ni sur la hauteur du son. Quelle que soit la forme du contour, des

proportions de largeur et de longueur semblables, doivent donner des résultats identiques. Nous appelons sur ce point



important l'attention des musiciens ; la plupart sont loin d'admettre ce principe qui est pourtant d'une vérité incontestable et dont l'évidence est facile à saisir par ceux qui ont bien voulu nous prêter quelque attention dans le cours de cette étude.

La forme du trombone à pistons est loin d'être commode ; si elle est nécessaire pour la construction du trombone à coulisse, elle est absolument inutile pour le trombone à pistons. Mais telle est la force de l'habitude, telle et la puissance d'une idée préconçue, que tous les efforts des facteurs pour s'écarter de cette forme primitive, ont échoué.

Un trombone dont le contours différerait de celui de l'instrument à coulisse ne serait plus un trombone : cette erreur est plus répandue en Belgique que dans les autres pays (*).

Les trombones à pistons sont au nombre de trois : *alto*, *tenor* et *basse*. Leur construction repose sur le même principe que les trombones à coulisse et leur longueur est semblable. Les positions obtenues sur la coulisse sont remplacées par celles que procurent les pistons. Les harmoniques s'écrivent de même et produisent leur effet, comme pour les trombones à coulisse, à l'unisson de la note écrite.

(*) Il est vrai, mais la théorie ne peut en tenir compte, que des contours multipliés peuvent, par suite d'une mauvaise fabrication, donner lieu à des irrégularités dans le tuyau. Celles-ci produiront alors non seulement des effets nuisibles au timbre, mais elles troubleront en même temps l'exactitude des rapports nécessaires entre les harmoniques.

Le *trombone ténor* à pistons est presque le seul employé. On le construit avec 3 ou 4 pistons.

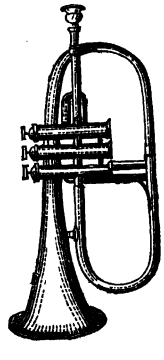
Avec trois pistons, on donne au 3e, un tube additionnel de 2 tons, de sorte que les harmoniques sont ceux d'un instrument ayant pour son fondamental le sol^b_{-1} de $3^m,718$. Il s'ensuit qu'en réunissant les trois pistons, nous produisons un abaissement de $3\frac{1}{2}$ tons, quinte juste $(1+\frac{1}{2}+2)$, ce qui nous permet l'emploi du mi^b grave comme 2e harmonique du son fondamental mi^b_{-1}.

Avec quatre pistons, on donne aux 3e et 4e pistons des tubes additionnels qui sont respectivement de $1\frac{1}{2}$ et $2\frac{1}{2}$ tons, et dont les combinaisons diverses avec les deux premiers pistons, fournissent les positions nécessaires au trombone avec plus de justesse, parce que ces longueurs diminuent le nombre de cas où l'emploi simultané de plusieurs pistons est nécessaire.

BUGLES. Ces instruments dérivent des cors à clefs et des ophicléides alto et basse. Le tuyau de ces instruments est conique. Ils sont le fondement de l'orchestre de fanfares, ils y remplissent un rôle dont l'importance équivaut à celui des clarinettes en harmonie, et des instruments à cordes en symphonie.

Les bugles forment une collection complète dont voici la nomenclature :

Petit Bugle soprano en mi^b. Il a pour son fondamental



le mi^b_2 de 307.5 vibrations et pour longueur théorique $1^m,105$. Les harmoniques 6. 7. 8 s'obtiennent difficilement par suite du peu de longueur de cet instrument.

Bugle contralto en si^b. Cet instrument est improprement

appelé en Belgique *bugle ténor*. Le son fondamental est à l'unisson du si^b_1 de 230,4 vibrations et sa longueur théorique est de $1^m,475$.

Bugle alto en mi^b (figure 1, page 148). Son fondamental mi^b_1 de 153,7 vibrations, longueur théorique $2^m,211$.

Ces trois instruments sont munis d'un jeu de pistons pareil à celui du cornet et donnent lieu à un doigté semblable. Les harmoniques s'écrivent comme ceux du cornet et ont pour effet réel : la tierce mineure supérieure, pour le bugle soprano en *mi*^{b}; la seconde majeure inférieure, pour le bugle contralto en *si*^{b}; la sixte majeure inférieure pour le bugle alto en *mi*^{b}.

Bugle baryton en si^b (figure 2, page 148). Le diapason de cet instrument devrait le faire désigner sous le nom de *bugle*

ténor en *si*^{b}. Il a pour son fonda nental le *si*$^b_{-1}$ d'une longueur théorique de 2^m,950.

Figure 2.

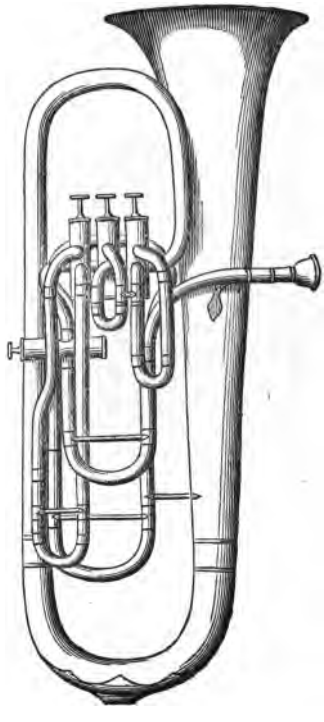
Figure 1.

Il offre peu de différence de mécanisme avec les trois autres bugles. Le tube additionnel appliqué au 3e piston est ordinairement, en Belgique surtout, calculé de façon à produire un abaissement de tierce majeure. Cette différence donne lieu à un léger changement de doigté qu'il est facile de déterminer en procédant, comme nous l'avons fait, pour le cornet (page 123).

Les harmoniques s'écrivent comme pour les instruments précédents, de sorte que l'effet réel est à la neuvième majeure de la note écrite.

Tuba en si^b. Cet instrument que l'on désigne encore sous les

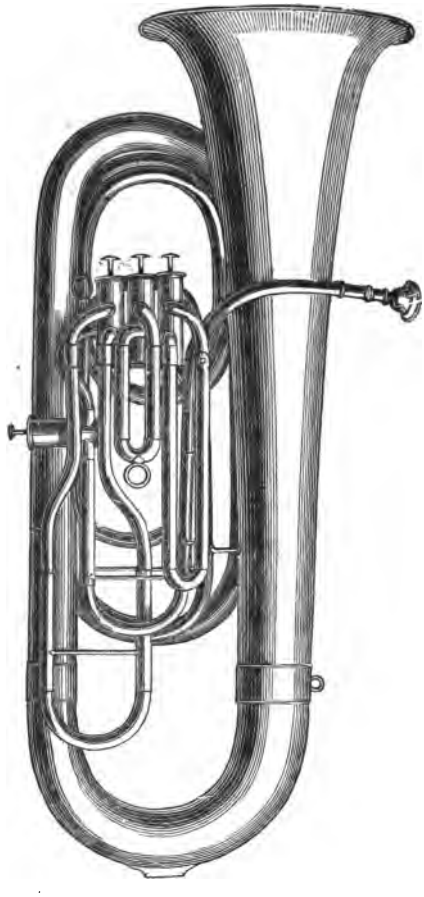
noms de ténor basse, euphonium, etc., a pour son fondamental le $si^{\flat}_{-1}$ et pour longueur théorique $2^{m},950$. Il est conséquemment à l'unisson de l'instrument précédent; mais ses proportions plus larges permettent l'emploi du son fondamental, lequel est relié au deuxième harmonique par les onze positions, que



fournit la combinaison de quatre pistons. Les tubes additionnels sont généralement et respectivement accordés en Belgique, à 1, $\frac{1}{2}$, 2 et 3 tons.

Les harmoniques s'écrivent en clef de *fa* et ont pour effet réel la seconde majeure grave.

On construit aussi pour l'usage de l'orchestre de symphonie, des *tubas en ut* dont l'effet réel est à l'unisson de la



BOMBARDONS en *fa*, *mi*$_b$, *ut* ou *si*$_b$ grave.

note écrite. Ces tubas possèdent quelquefois une coulisse de rechange destinée à les allonger pour les mettre en *si*^{b}. Ces derniers sont généralement difficiles à construire de façon à

offrir, dans les deux tons, l'exactitude des rapports entre les harmoniques. Ils exigent de plus l'accord des tubes additionnels d'après la tonalité employée. Cette dernière obligation étant souvent négligée, le mauvais résultat que l'on obtient de l'emploi de ces instruments, s'explique aisément.

Bombardon en fa. Il a pour son fondamental le fa_{-1} et pour longueur théorique $3^m,939$. Les harmoniques s'écrivent comme ceux du tuba, mais l'effet réel se produit à la quarte inférieure de la note écrite. Le mécanisme de l'instrument est le même pour *tous* les bombardons, il est semblable aussi à celui du tuba.

On appelle quelquefois cet instrument *bombardon en ut;* en Belgique, cette dénomination est même assez générale.

Cette habitude provient de l'usage d'écrire cet instrument dans sa tonalité réelle, c'est-à-dire de noter les harmoniques à l'unisson de l'effet réel. Employé de cette façon, le bombardon en *fa* est le véritable instrument de basse, en cuivre, de l'orchestre de symphonie. Aujourd'hui l'on y exécute les parties de basse sur des tubas en si^b ou en *ut*, en employant constamment les notes les plus graves de leur étendue. Ces notes sont les plus mauvaises de l'instrument, elles exigent une sûreté d'embouchure excessive et elles manquent de justesse parce qu'elles résultent obligatoirement de l'emploi simultané de plusieurs pistons.

Bombardon en mi^b. Le son fondamental de cet instrument est le mi^b_{-1} et la longueur théorique est de $4^m,422$. On écrit les harmoniques comme pour le tuba en si_b et l'effet réel se produit à la sixte majeure inférieure de la note écrite.

Bombardon en ut grave. Le son fondamental est l'ut_{-1} de 64.6 vibrations, la longueur théorique est de $5^m,258$. La notation employée est celle du tuba et l'effet réel se produit à l'octave inférieure de la note écrite.

Bombardon en si^b *grave.* Cet instrument détermine la limite extrême au grave des instruments à vent. Le son fondamental est le si^b_2 de 57.6 vibrations, la longueur théorique est de

5m,900. Les harmoniques écrits comme pour le tuba, ont leur effet réel à la neuvième majeure inférieure de la note écrite.

Ce n'est pas une cause matérielle inhérente à la fabrication qui a empêché celle-ci de reculer la limite des instruments jusqu'aux derniers sons de l'octave$_{-3}$ (appelée le 32 pieds de l'orgue). Mais les lèvres sont impuissantes à ébranler des tuyaux d'une si grande longueur, parce qu'elles ne peuvent produire qu'imparfaitement des vibrations assez lentes pour établir l'isochronisme avec des sons aussi graves.

Les trois derniers instruments peuvent se fabriquer avec le sytème des quatre pistons; cependant, comme il est presque impossible de produire le son fondamental pour la raison donnée dans le paragraphe précédent, on ne munit ordinairement ces instruments que de trois pistons dont les combinaisons limitent l'étendue à l'harmonique écrit, *fa* (sous la portée en clef de *fa*, et 2e harmonique du son fondamental obtenu par l'abaissement simultané des trois pistons) ayant pour effet réel le la^b_{-1}, pour le bombardon en mi^b; le fa_{-1} pour le bombardon en *ut* grave; et le mi^b_{-1} pour le bombardon en *si*♭ grave.

Plusieurs fabricants ont adopté, depuis quelques années, pour la construction de ces trois derniers bombardons, la forme circulaire représentée par la figure page 152. Ce contour, dont la première application a été faite en Autriche, est très-avantageux pour l'instrumentiste. Le poids de l'instrument reposant sur les épaules, conserve à la main gauche la liberté complète et nécessaire à la direction de l'embouchure; à la main droite, l'agilité indispensable au mouvement régulier des pistons.

INSTRUMENTS EN BOIS.

Cette désignation s'applique à quatre familles bien distinctes: les clarinettes, les hautbois (comprenant, les bassons) les sarrusophones et les saxophones. Ces deux derniers, quoique construits en cuivre, peuvent être rangés parmi les instruments en bois,

parce que le principe de leur construction est absolument semblable à celui des autres instruments que l'on désigne de cette façon. Les saxophones et les sarrusophones ne sont contruits en cuivre que parce que ce métal offre une plus grande facilité à la réunion des proportions sur lesquelles repose la construction de ces instruments; on les ferait tout aussi bien en bois, si la difficulté de la construction n'en devenait plus grande.

La famille des **CLARINETTES** est excessivement nombreuse : on a construit ces instruments dans presque tous les tons, mais les principaux sont :

Les clarinettes (figure 1 page 155) :

en *mi*^{b},
en *ut*, à la tierce mineure grave de la précédente
en *si*^{b}, à la seconde majeure »
en *la*, à la seconde mineure »

Les clarinettes altos (figure 2 page 155) :

en *fa*, appelée aussi Basset horn ou cor de Basset, à la tierce majeure grave de la clarinette en *la*;
en *mi*^{b}, à la seconde majeure grave de la clarinette alto en *fa*.

La clarinette basse (figure 3 page 155) :

en *si*^{b}, à la quarte inférieure de la clarinette alto en *mi*^{b}.

Notre but n'étant pas de faire un traité d'instrumentation, nous ne nous occuperons dans la description de cette famille, que de l'instrument principal, la clarinette en *si*^{b}; du reste, ce que nous en dirons peut s'appliquer, presque sans exceptions, à tous les autres iustruments en bois.

La clarinette est un tuyau entièrement cylindrique ; l'ébranlement de la colonne d'air est produit par la vibration d'une anche flexible en roseau, appliquée par une surface plane appelée table, sur l'ouverture du bec et pratiquée latéralement sur

la moitié environ de la longueur de celui-ci. L'ouverture communique avec la colonne d'air. Le bec se tient en bouche de façon à recouvrir presque entièrement la partie vibrante de l'anche. Le souffle met celle-ci en vibration, la colonne d'air s'ébranle

Figure 3.

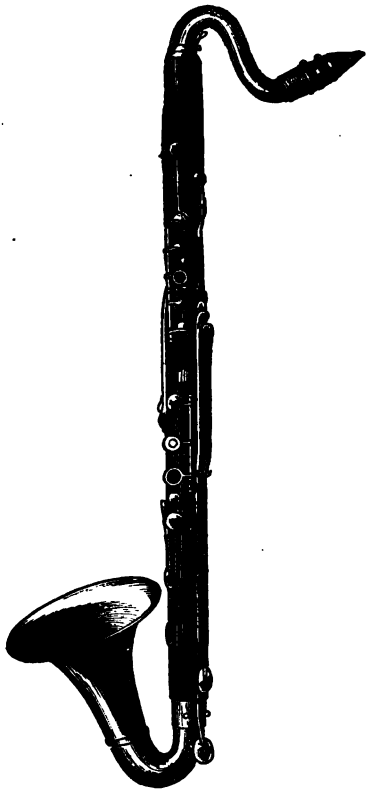
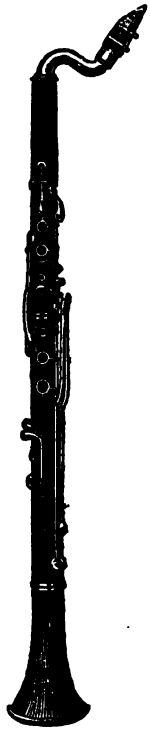


Figure 1.

Figure 2.



et l'anche étant flexible vibre en harmonie avec les longueurs de tuyau qui lui sont offertes.

Il est essentiel, pour que l'anche parle bien, que la table soit absolument plane et que le bec soit dressé de façon à laisser

entre les bords de son ouverture et l'anche, un intervalle qui prend naissance au commencement de l'ouverture, pour augmenter progressivement jusqu'à l'extrémité du bec. L'intervalle maximum est proportionnel à la longueur de la clarinette. Pour un instrument en *si*^{b} cet écartement est un peu plus d'un millimètre. Il est essentiel aussi que les deux côtés de l'anche soient partout à une égale distance des deux bords de l'ouverture du bec.

Les tuyaux *cylindriques* dont la colonne d'air est ébranlée par une anche, offrent cette particularité très-remarquable, qu'ils résonnent absolument comme les tuyaux fermés, parce que la place de l'anche est celle du maximum des variations de pression et du minimum de vitesse des molécules d'air dont la conséquence est la formation d'un nœud à cette extrémité du tuyau.

La longueur des tuyaux cylindriques ébranlés par une anche est donc moindre de moitié pour un son de même hauteur, que celle de la plupart des autres instruments dont la construction est basée sur les tuyaux ouverts. De plus, l'obligation, commune à tous les tuyaux fermés, d'avoir un nœud de vibration à une extrémité et un ventre à l'extrémité opposée ne leur permet que de renforcer les harmoniques impairs 3, 5, 7, 9, etc. de la série.

La clarinette est donc un tuyau fermé, et cette particularité n'a pas été bien comprise par la plupart des auteurs qui ont parlé de cet instrument. M. Fétis a, dans plusieurs de ses ouvrages, critiqué la construction de la clarinette, en disant qu'elle reposait sur une mauvaise base acoustique et qu'il fallait chercher à la faire octavier. Or, pour faire octavier la clarinette, c'est-à-dire pour lui faire renforcer les harmoniques pairs, il faut tout simplement la détruire et en faire un saxophone; car, comme nous le verrons plus loin, le saxophone ne diffère de la clarinette que par la perce conique, qui le range parmi les tuyaux ouverts renforçant les harmoniques pairs et impairs.

La clarinette a une étendue fort grande, comprise entre

avec tous les intervalles chromatiques (*). Ordinairement, on ne dépasse pas le deuxième *sol* au dessus de la portée.

La tonalité des instruments en bois se détermine par l'effet réel que produit l'*ut* écrit. Ainsi la clarinette en *si*^{b} a son effet réel à la seconde majeure grave de la note écrite.

La note la plus grave de la clarinette, *mi*, sera donc à l'unisson du *ré*$_2$ de 290,25 vibrations simples, et la longueur de tuyau nécessaire pour produire ce son sera de 0^m,585. En tuyau ouvert, il aurait fallu 1^m,171 (**).

La construction de la clarinette nous ayant toujours spécialement occupé, nous entrerons à ce sujet dans quelques détails qui seront, pensons-nous, bien reçus par quelques musiciens éclairés et par les facteurs dont la routine n'est pas le seul guide. La connaissance des règles que nous allons déterminer est le fruit de plusieurs années de recherches.

(*) Quelques clarinettes, le cor de Basset par exemple, ont été construites de façon à descendre jusqu'à l'*ut* grave. Cet accroissement d'étendue n'offre aucune difficulté de construction, il s'obtient par une augmentation de longueur donnée au tuyau.

(**) Les instruments en bois se démontent ordinairement en plusieurs parties. Nous ne pensons pas qu'il soit nécessaire de faire remarquer que ces divisions n'ont aucune influence sur la hauteur du son, laquelle est déterminée par la longueur seulement.

Cependant ce démontage des instruments, pratiqué dans le but de les rendre plus portatifs, n'est pas précisément propice à la division exacte du tube, et il donne lieu, bien souvent, dans la proportion de la perce, à des défauts que vient augmenter encore l'usure des tenons.

Nous avons dit que la longueur vraie des instruments de musique n'est pas généralement conforme à la longueur théorique. Pour la clarinette, nous avons trouvé que *la longueur théorique détermine la longueur vraie lorsque le diamètre intérieur du tuyau est de* $0^m,014$.

Cette dimension est ordinairement admise pour la perce (*) de la clarinette en *si*^{b}, avec quelques écarts insignifiants qui varient d'un facteur à un autre.

La longueur totale de l'instrument se mesure depuis l'extrémité de l'anche jusqu'au bout du tuyau. La condition essentielle d'une bonne clarinette est d'avoir la perce exactement cylindrique sur toute sa longueur. Plus la perce est grande, plus le son hausse; le rétrécissement produit naturellement l'effet contraire. Cette variation nous a permis de formuler la règle suivante :

Si la perce d'une clarinette a un diamètre supérieur à $0^m,014$, *la longueur théorique doit être augmentée de la double différence entre le diamètre de la perce employée et* $0^m,014$. Ainsi, supposons que nous voulions construire avec une perce de $0^m,021$, un tuyau de clarinette dont la longueur totale produirait le la_2 de 435 vibrations simples. Nous aurons à prendre, pour mesure exacte, la longueur théorique qui est de $0^m,390$, et à l'augmenter de deux fois la différence entre $0^m,021$ et $0^m,014$. Nous aurons donc :

$$0^m,390 + 2(0^m,021 - 0^m,014) = 0^m,404.$$

Un tuyau de $0^m,404$, mesuré depuis l'extrémité de l'anche jusqu'au bas du tuyau, nous donnera exactement le la_2 de 435 vibrations.

Si la perce de la clarinette a un diamètre inférieur à $0^m,014$, *la longueur théorique doit être diminuée de la différence entre le diamètre de la perce employée et* $0^m,014$. Ainsi pour pro-

*) On appelle *perce* les proportions intérieures données au tuyau.

duire le même la_2 avec une perce de $0^m,011$, nous n'aurons qu'un tuyau de $0^m,387$, car :

$$0^m,390 - (0^m,014 - 0^m,011) = 0^m,387.$$

Un instrument, pour produire une échelle de sons aussi grande que celle de la clarinette, ne peut être composé d'une quantité de tuyaux assez nombreuse pour représenter tous les sons de son étendue.

On est donc forcé de diminuer progressivement la longueur principale du tuyau au moyen de trous latéraux qui font l'office des doigts appuyés sur la corde, c'est-à-dire qui diminuent la longueur du corps vibrant.

L'ouverture amène forcément, par la communication qu'elle établit avec l'air extérieur, la formation d'un ventre de vibration et la longueur du tuyau ne compte plus alors que depuis l'extrémité du bec jusqu'au centre du trou latéral.

Si nous pouvions nous servir de la seule théorie, nous aurions pour longueur du tuyau principal de la clarinette en *si*^{b}, et de ses divisions par l'ouverture des trous latéraux, en tenant compte de l'effet réel ;

pour	*mi,*	longueur totale		0^m585
»	*fa,*	centre du 1er trou		0.552
»	*fa dièse*	» 2e	»	0.521
»	*sol*	» 3e	»	0.492
»	*sol dièse*	» 4e	»	0.464
»	*la*	» 5e	»	0.438
»	*la dièse*	» 6e	»	0.414
»	*si*	» 7e	»	0.390
»	*do*	» 8e	»	0.368
»	*do dièse*	» 9e	»	0.348
»	*re*	» 10e	»	0.328
»	*re dièse*	» 11e	»	0.310
»	*mi*	» 12e	»	0.292
»	*fa*	» 13e	»	0.276
»	*fa dièse*	» 14e	»	0.260
»	*sol*	» 15e	»	0.246
»	*sol dièse*	» 16e	»	0.232
»	*la*	» 17e	»	0.219

Comme on a pu le voir ci-dessus, nous ne pouvons pas toujours employer les longueurs théoriques ; nous avons exposé le moyen de combattre l'action de la perce, mais il y a d'autres influences dont nous avons aussi à tenir compte pour arriver à un résultat pratique.

Il est impossible d'établir dans la paroi d'un tube des ouvertures aussi grandes que le diamètre de la perce ; de plus, les vibrations qui se propagent par l'ouverture d'un trou latéral n'ont pas un parcours aussi régulier que celles qui se propagent par l'extrêmité inférieure et en suivant l'axe du tuyau. Il en résulte que si les trous latéraux étaient forés à la place indiquée par la théorie, les sons obtenus seraient beaucoup trop bas. Nous avons trouvé qu'on peut tourner cette difficulté *en diminuant la longueur théorique d'une longueur égale à la différence entre le diamètre du trou et celui de la perce.*

Ce n'est pas tout, la paroi des instruments de bois a nécessairement une certaine épaisseur, et le trou pratiqué dans cette paroi ajoute à la colonne d'air une longueur égale à son épaisseur, laquelle forme en quelque sorte un petit tube additionnel ouvert aux deux extrémités.

La colonne d'air principale étant un tuyau fermé, nous savons qu'il *suffit pour compenser l'abaissement produit par l'épaisseur de la paroi, de diminuer la colonne d'air principale de la moitié de cette épaisseur.* Pour mieux faire comprendre l'ensemble de cette opération, prenons un exemple :

La longueur d'une clarinette en *si*♭ produisant sa note la plus grave, *mi*, est de $0^m,585$ avec une perce de $0^m,014$. A quelle distance faut-il forer le trou latéral produisant le *fa* en supposant que nous voulions donner à ce trou un diamètre de $0^m,010$?

La différence entre la perce et le diamètre du trou étant de $0^m,014 - 0^m,010 = 0^m,004$, nous devons diminuer la longueur théorique de 4 millimètres, et nous aurons :

$0^m,552$ longueur théorique du fa_2 ($mi^b{}_2$).
$-\ 0^m,004$

$0^m,548$ centre du trou de *fa*.

Supposons autour de la perce, une épaisseur de bois de 6 millimètres. Le son parcourt donc la longueur de ce petit tube additionnel en plus; mais, comme la clarinette est un tuyau fermé, nous compensons l'effet de ce parcours en diminuant la longueur principale de la moitié de cette épaisseur. Nous aurons à faire l'ouverture de $0^m,010$ proposée pour le *fa*, à une distance de

$$0^m,548 - 0^m,003 = 0^m,545.$$

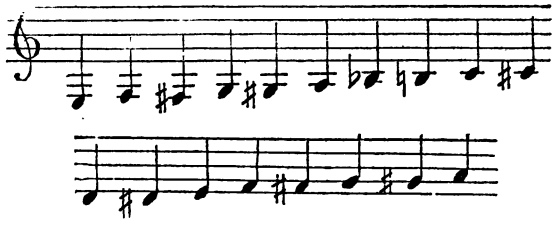
Le son obtenu par cette ouverture sera exactement le *fa* grave de la clarinette en *si*^{b}, ayant pour effet réel le *mi*$^b{}_2$.

Chacun des trous suivants pourra se calculer de la même façon.

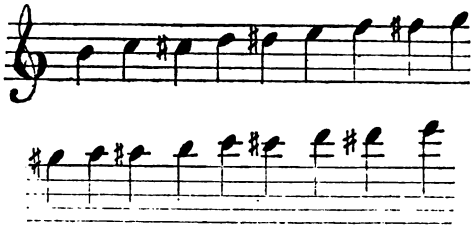
Arrivé au *la*, nous avons donc dix-huit longueurs de tuyau, donnant dix-huit sons fondamentaux, exactement accordés à un demi-ton chromatique l'un de l'autre.

La clarinette, tuyau fermé, ne renforce pas les harmoniques pairs; le premier harmonique que nous pouvons obtenir est le son 3, c'est-à-dire celui qui se trouve à la quinte de l'octave du son fondamental. Mais la forme de l'anche ne permet pas facilement l'augmentation de pression nécessaire pour forcer le partage de la colonne d'air: il nous faut donc recourir à un autre moyen.

Nous savons que si nous forons un trou au tiers de la longueur d'un tuyau fermé, en partant de l'extrémité où se trouve nœud, la communication de cette partie de la colonne d'air avec l'air extérieur occasionne la formation d'un ventre, et que par suite le tuyau se partage en trois parties égales, produisant un nombre de vibrations triple. C'est le moyen employé dans la construction de la clarinette. Les sons fondamentaux suivants :



deviennent, par l'ouverture d'un trou semblable, des harmoniques 3 :



On le conçoit aisément, le trou nécessaire au partage de la colonne d'air doit être petit : une ouverture trop grande donnerait lieu à la formation d'un autre son fondamental et non pas au partage du tuyau.

La place de ce trou, que certains facteurs appellent l'*âme de la clarinette*, devrait varier pour chaque son fondamental, et cette nécessité théorique donne lieu à une difficulté matérielle, que ne peut résoudre la pratique. En effet, au fur et à mesure que le tuyau diminue de longueur, pour produire les différents sons fondamentaux, il est évident que la place du ventre nécessaire à la formation du troisième harmonique, change pour se rapprocher du bec, car les tiers du tuyau deviennent de plus en plus petits. Il y aurait donc nécessité, pour la formation de chacun des harmoniques, d'ouvrir un trou spécial à la place indiquée par la théorie; mais on comprend facilement qu'il est impossible de construire dans de bonnes conditions, un mécanisme d'un effet si complexe. On se contente de placer la clef *quintoyante* en un point moyen entre les deux points extrêmes, et de donner à l'ouverture un diamètre assez grand pour qu'il puisse servir en même temps à la formation du *la* dièse, qui manque pour relier le dernier son fondamental *la*, au premier harmonique *si* (*).

(*) Le *la* dièse ou *si* bemol exigerait un trou spécial, mais ce perfection-

Faute de pouvoir placer la clef quintoyante à la véritable place exigée par chaque son fondamental pour sauter à la douzième, et comme conséquence de ce défaut, il arrive que les sons fondamentaux les plus graves sont toujours plus éloignés des troisièmes harmoniques que ne l'exige le rapport 1 : 3. C'est au facteur à atténuer, autant que possible, les conséquences de ce défaut naturel et inévitable en admettant un terme moyen entre ce rapport.

Si nous examinons la construction d'une clarinette, nous voyons que la distance entre l'ouverture inférieure et celle du premier trou est beaucoup plus grande que l'intervalle indiqué par la théorie. En effet, nous avons :

$0^m,585$ longueur du tuyau,
$0^m,552$ centre du 1er trou,

différence $0^m,033$, tandis que la pratique exige un écartement moyen de $0^m,125$.

Cet écart entre la théorie et la pratique provient de ce que le tuyau, au lieu de continuer son parcours cylindrique, se termine par un évasement très-prononcé appelé pavillon. La perce devenant beaucoup plus large, nécessite naturellement, pour la note la plus grave, une longueur de tuyau plus grande que ne l'enseigne la théorie qui ne prévoit pas cet écartement des parois.

Le pavillon de la clarinette est absolument inutile; il sert à une seule note: la plus grave. Si l'on continuait le parcours cylindrique de la perce jusqu'à l'extrémité du tuyau, il en résulterait déjà que ladite note aurait une sonorité beaucoup plus grande que celles dont la formation oblige les ondes sonores à

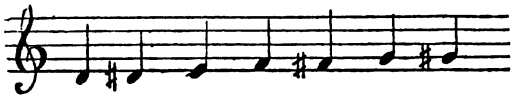
nement amènerait inévitablement un changement dans le doigté habituel, ce qui ne manquerait pas d'être rejeté. On a essayé, par une complication de mécanisme, de réaliser le perfectionnement sans nécessiter un changement de doigté, mais on n'y est parvenu qu'au détriment de la sûreté de l'instrument ou en provoquant quelque autre défaut.

se répandre par des trous latéraux. Or, nous le demandons, pourquoi augmenter ce défaut inévitable en renforçant encore la sonorité de la note extrême, par la forme du pavillon ? Remarquez cependant ce que c'est que la routine et l'habitude de voir une chose faite toujours de la même manière ; aujourd'hui une clarinette sans pavillon ne serait pas une clarinette, par la raison que n'en ayant jamais existé ainsi, il doit être considéré comme impossible d'en construire une semblable !

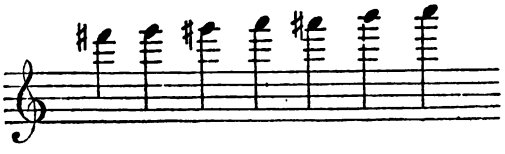
En attendant que la suppression du pavillon reçoive la sanction de l'usage, poursuivons l'examen commencé.

Les sons du registre aigu semblent n'avoir pour doigté qu'une combinaison de trous et de clefs due au hasard. Il n'en est rien. Ce doigté, s'il n'est pas tout à fait aussi régulier que celui qui résulte de l'emploi de la clef quintoyante, peut parfaitement s'expliquer. La colonne d'air, en se partageant en un nombre plus grand de parties, selon que l'on emploie les harmoniques 5, 7, 9 du son fondamental, exige l'ouverture de trous et de clefs qui aident à la formation des nœuds et des ventres de vibration nécessaires à ce partage.

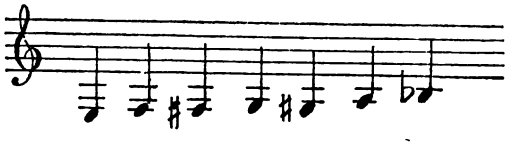
Ainsi, le doigté des notes fondamentales



peut servir à la formation des cinquièmes harmoniques de ces notes, qui deviennent conséquemment :



Ces dernières notes peuvent aussi être considérées comme neuvièmes harmoniques des sons fondamentaux :



L'ouverture régulière et progressive des trous de la clarinette, telle que nous l'avons supposée précédemment, n'est pas d'une possibité absolue. Elle exigerait une complication de mécanisme qui détruirait en grande partie la sûreté et conséquemment la confiance que l'artiste doit naturellement avoir dans son instrument.

La clarinette ordinaire est percée de 7 trous latéraux dont 6 se recouvrent par les trois premiers doigts de chaque main et le 7e par le pouce de la main gauche. Elle est de plus, armée de 13 clefs recouvrant autant de trous.

Le nombre des doigts étant limité, il en résulte que quelques trous sont forés nécessairement sans raisons théoriques ; de là des doigtés irréguliers, des fourches, dont l'emploi n'est pas sans conséquences fâcheuses pour la sonorité de l'instrument. Boehm, le réformateur de la flûte, a, en grande partie, obvié à cet inconvénient en imaginant un mécanisme qui permet à peu près l'ouverture régulière et progressive des trous, et ce mécanisme pourrait, dans son application à la clarinette, et au moyen de quelques perfectionnements, amener une grande amélioration dans la construction, si des changements de doigté n'étaient à craindre.

Or, ces changements entraînent à de si grands embarras le facteur assez hardi pour les proposer, qu'il est à craindre que la clarinette ne reste longtemps encore ce qu'elle est actuellement. En parlant de Boehm, il est nécessaire de dire ici que la clarinette qui porte son nom n'a emprunté que peu de chose aux principes appliqués pour la première fois à la

flûte par cet intelligent artiste. On appelle aujourd'hui *clarinette Bochm* un instrument armé d'un grand nombre de clefs et de mécanismes dont le but est de faire disparaître quelques difficultés de doigté qui naissent de l'emploi de certaines clefs. Certes, ce système a du bon, beaucoup de bon, mais il a du mauvais en quantité suffisante pour justifier notre critique. Le moindre des défauts est que bien souvent la complication du mécanisme empêche la fermeture hermétique des clefs, condition indispensable à la production des sons graves, et la sonorité en est sérieusement altérée. Si toutes les difficultés de doigté avaient disparu par la clarinette Boehm, il faudrait prendre patience, le mal dont nous nous plaignons serait compensé par la liberté complète laissée aux compositeurs. Mais il n'en est pas ainsi.

Le compositeur désireux de bien écrire pour la clarinette Boehm, est obligé de s'instruire de ce qu'elle peut et ne peut pas faire; dès lors, il nous semble qu'il y aurait intérêt à ce que la restriction s'étendît un peu plus et à donner à l'artiste un instrument sûr, solide et sonore.

Du reste, le résultat obtenu par l'adoption de la clarinette Boehm est là. C'est dans l'effet qu'il faut rechercher la cause, c'est à la cause qu'il faut reprocher l'effet.

Les virtuoses sur la clarinette à treize clefs sont nombreux; leur nom brille dans les annales de l'art musical à l'égal de celui des plus grands artistes. Les virtuoses sur la clarinette Boehm où sont-ils? Il y en a, bien certainement, mais leur nombre est assez restreint pour qu'il soit permis de les compter aisément.

Ne faisons pas de l'art une question de mécanique; surmontons les difficultés d'un instrument par le travail, et nous produirons des artistes sérieux, dont le talent sera à la hauteur des exigences de la musique moderne.

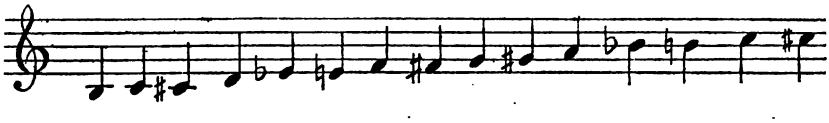
Avant de terminer, il est bon de faire remarquer que l'explication donnée page 159, à l'égard de la division du tube principal des instruments de musique, reposant sur le système des clefs, fournit également la raison pour laquelle un instru-

ment ne peut être dérangé de sa tonalité ni même de son diapason, sans le fausser complétement par suite de l'irrégularité que l'allongement ou le raccourcissement provoque dans la division du tube principal.

La famille des **HAUTBOIS** n'est pas nombreuse. Elle comprend cinq instruments principaux : le *hautbois* proprement dit, le *hautbois d'amour*, le *cor anglais*, le *basson* et le *contre-basson*. Cette famille a pour producteur du son deux languettes de roseau réunies et formant une anche double (*), flexible, qui s'accorde avec toutes les longueurs du tuyau. La perce est conique, et cette forme de la colonne d'air range ces instruments parmi les tuyaux *ouverts*. Les détails dans lesquels nous sommes entrés pour la clarinette nous permettent de passer rapidement en revue les autres instruments à anche.

Le *hautbois* (fig. 1, page 168) est construit en *ut*, c'est-à-dire que la notation de cet instrument représente exactement l'effet réel.

Le son le plus grave du hautbois ordinaire est le si_2 de 488,2 vibrations simples. Sa longueur théorique est de $0^m,696$. Au moyen de 6 trous forés latéralement, recouverts par les trois premiers doigts de chaque main, et de clefs ordinairement au nombre de dix, on produit, par l'ouverture progressive des trous et des clefs, les sons fondamentaux suivants :



En levant le premier doigt de la main gauche, ou en ne bouchant le trou qu'à moitié, ce qui vaut mieux, et en prenant,

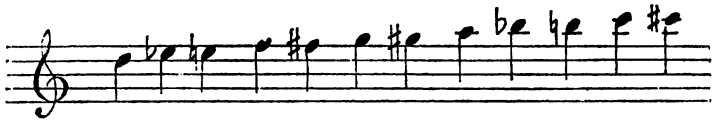
(*) Le jeu des instruments à anche, et à anche double surtout, exige, de la part des artistes, une oreille très-exercée au sentiment de la justesse. Des pressions d'anches différentes peuvent, pour un même tuyau, produire des différences de près d'un quart de ton. Cette difficulté d'exécution croît en raison inverse de la longueur du tuyau.

Fig. 3

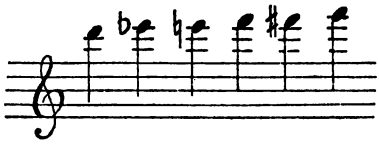
Fig. 2.

Fig. 1.

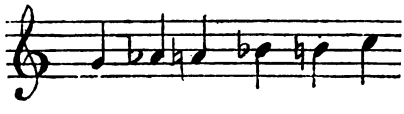
le doigté du *ré* fondamental, le son octavie. Les autres sons à l'octave se forment par le doigté des sons fondamentaux auquel on ajoute l'une des deux clefs à octavier disposées à quelque distance l'une de l'autre et dont l'ouverture a pour but la formation des ventres de vibration nécessaire au partage de la colonne d'air d'un tuyau renforçant le deuxième harmonique. On obtient ainsi :



L'étendue du hautbois n'est pas limitée à cette dernière note elle se complète par les sons :



troisièmes harmoniques des sons fondamentaux suivants :



au doigté desquels on ajoute : soit les ouvertures nécessaires pour forcer le partage de la colonne d'air vibrant dans ces conditions, soit la couverture de quelques trous pour obtenir la justesse qui ne serait pas toujours satisfaisante sans cet artifice. Les quatre dernières notes du hautbois peuvent aussi se produire comme quatrièmes harmoniques des sons fondamentaux 6, 7, 8, 9, et les cinq dernières, comme cinquièmes harmoniques des sons fondamentaux 1, 2, 3, 4, 5. C'est ce qui occasionne les différents doigtés dont sont susceptibles les notes du registre aigu.

On construit quelquefois pour la facilité des orchestres

d'harmonie, des hautbois en *ré*$^{\flat}$, à la seconde mineure supérieure du précédent ou en *si*$^{\flat}$, à la seconde majeure inférieure de l'instrument type.

Le *hautbois d'amour* (fig. 2, page 168) est à proprement parler un hautbois en *la*, une tierce mineure plus bas que le hautbois ordinaire en *ut* que nous avons décrit. L'étendue écrite est la même que celle de ce dernier instrument, l'effet se produit naturellement à la tierce mineure inférieure.

Cet instrument n'est plus employé de nos jours ; il remplit cependant un rôle important dans les œuvres de Bach, pour l'exécution desquelles la reconstruction de l'instrument a été confiée par M. Gevaert, directeur du Conservatoire royal de musique de Bruxelles, à l'auteur de ce modeste traité.

Une réussite assez heureuse a enrichi l'orchestration d'un instrument possédant un timbre spécial, d'un caractère doux, agréable et se prêtant admirablement aux effets mélodiques. Le hautbois d'amour possède une faculté d'expression aussi grande que celle du hautbois.

Le *cor anglais* (fig. 2, page 168) est un hautbois alto en *fa*. La note la plus grave de son étendue, le *si*, est accordé à l'unisson du mi_2 de 325,75 vibrations simples. Sa longueur théorique est de $1^{m},043$. La théorie de sa construction ne présente aucune différence avec celle du hautbois.

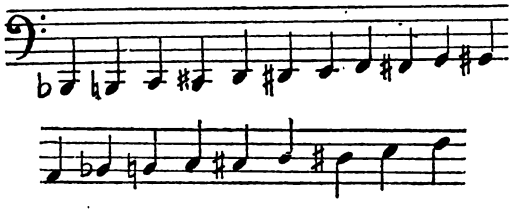
L'étendue et la notation sont les mêmes que celles de ces derniers instruments. L'effet produit est à la quinte inférieure de la note écrite.

Le *basson* (fig. 3, page 168) n'offre pas une bien grande différence avec les instruments qui précèdent. Le principe est toujours le même. Ce qui distingue le basson, c'est qu'il est armé d'un plus grand nombre de clefs, disposées pour lui donner une étendue plus grande dans le registre grave.

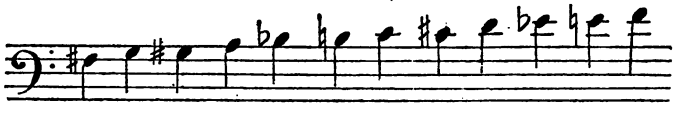
Le $si^{\flat}_{-1}$, de 115,25 vibrations simples, détermine la limite de cet instrument au grave. Sa longueur théorique est donc de $2^{m},95$. La note écrite donne exactement l'effet réel.

Au moyen de huit trous percés latéralement, — quatre pour

les trois premiers doigts et le pouce de chaque main (*) — et de clefs dont le nombre varie mais qui est ordinairement de 16, le basson produit les sons fondamentaux suivants :



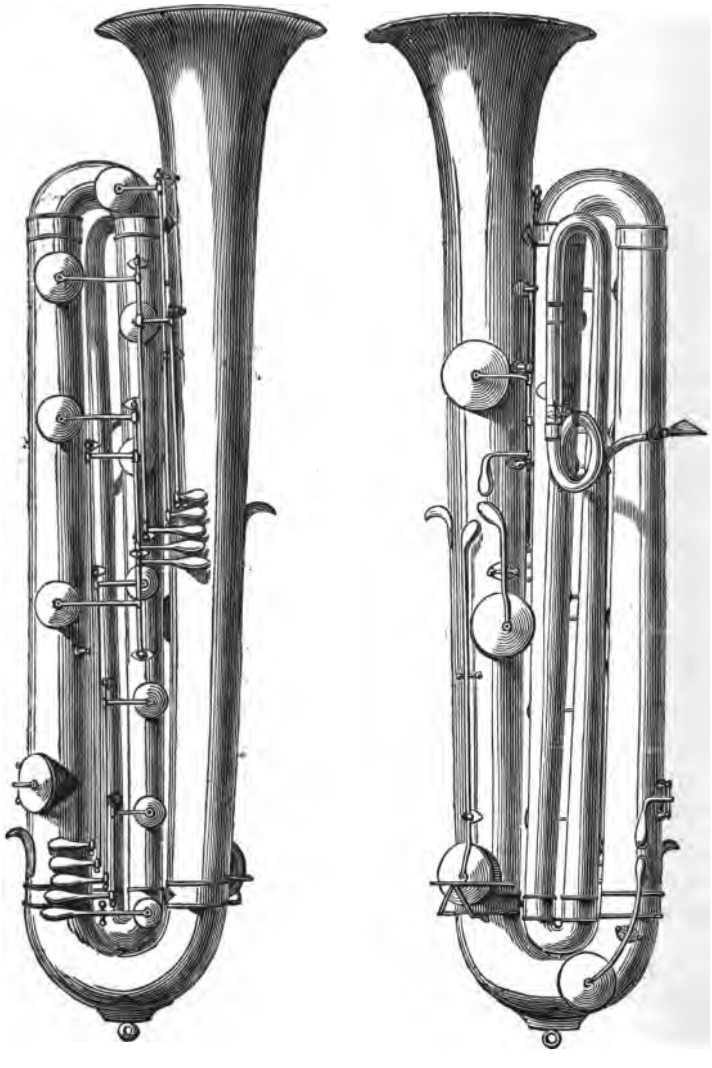
La grande longueur de cet instrument fait que l'aide des clefs à octavier n'est pas nécessaire pour forcer le partage de la colonne d'air. La pression des lèvres suffit pour la production des deuxièmes harmoniques qui nous fournissent, au moyen du doigté des sons fondamentaux, les notes suivantes :



Le basson peut, par l'emploi des harmoniques 3, 4, 5, parcourir une étendue à l'aigu dont la limite varie trop d'un artiste à un autre pour être déterminée. Ordinairement, les parties de basson ne dépassent pas le *si*♭ à la quarte aiguë du dernier des deuxièmes harmoniques. Les intervalles chromatiques entre ce dernier son et celui qui détermine la limite du basson, ont des variétés de doigté qui dépendent naturellement du choix de l'harmonique dont ils sont formés et dont la théorie a suffisamment été expliquée pour le hautbois.

(*) Les trous sont forés obliquement dans cet instrument pour les rapprocher extérieurement, en raison de l'écartement limité des doigts, et les éloigner intérieurement, afin de les disposer, autant que possible, d'après les rapports que la théorie exige. Cette particularité influence fortement le timbre de cet instrument.

Le **CONTREBASSON** était autrefois en bois et contruit dans des proportions doubles de celles du basson ; de sorte

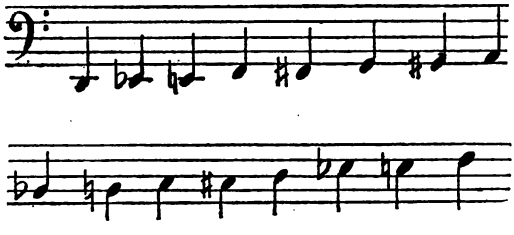


qu'il était exactement à l'octave inférieure de celui-ci. L'usage

de cet instrument a été abandonné, parce qu'il manquait absolument de justesse. Le contrebasson actuel, d'origine autrichienne, est en cuivre. Il est représenté, sur ses deux faces, à la page 172. Introduit en Belgique à la suite de l'Exposition de Paris, par la maison C. Mahillon, qui a apporté différentes modifications à son mécanisme et au principe de sa construction, le nouveau contrebasson a rapidement fait son chemin, et son emploi est devenu presque général en Belgique, dans les grands orchestres de symphonie. En Angleterre, il est même généralement admis dans les corps de musique militaire.

De même que les autres membres de cette famille, le contrebasson est un instrument à perce conique, et la colonne d'air est mise en vibration par l'anche double. Les proportions de cet instrument sont très-larges, la sonorité est puissante et en rapport avec les sons graves qu'il est appelé à produire.

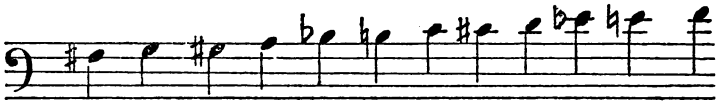
La longueur totale théorique de l'instrument est de $4^{m},685$, donnant le *re*$_{-1}$ de 72,5 vibrations simples. Au moyen de quinze clefs, disposées de façon à diminuer, à l'ouverture de chacune d'elles, la longueur de l'instrument d'un demi-ton chromatique, on produit les sons fondamentaux suivants :



La longueur de l'instrument indique suffisamment que l'effet se produit à l'octave inférieure de la note écrite.

Malgré la longueur de l'instrument, les larges proportion de la colonne d'air ne permettent que difficilement, au moyen de l'embouchure, le partage nécessaire à la production des deuxièmes harmoniques. On se sert donc de deux clefs à octavier,

placées à quelque distance l'une de l'autre. La première sert à faire octavier les premiers sons fondamentaux, la seconde remplit le même office pour les autres. Les sons produits ainsi se notent:



Ils complètent l'étendue de cet instrument.

Plusieurs essais ont été tentés pour améliorer la construction des hautbois, cors anglais et bassons, dont les trous latéraux ne sont pas placés conformément aux règles de la science acoustique. Malheureusement, ces essais ont dû forcément être abandonnés, du moins pour la plupart, parce qu'ils apportaient des modifications dans le timbre qui n'étaient pas de nature à être approuvées par les artistes. En effet, les trous latéraux de ces instruments sont ordinairement fort petits et percés, en règle générale, sur des données ayant la routine pour seul guide.

Par suite, les doigtés se compliquent de fourches, de demi-trous, etc., qui disparaîtraient par une division exacte de la colonne d'air, mais dont l'emploi actuel doit précisément être maintenu, si l'on tient à conserver le caractère spécial du timbre de ces instruments. Rien ne serait plus facile que de baser la construction du hautbois, du cor anglais et du basson sur tous les perfectionnements fournis par la science moderne. Le doigté deviendrait plus régulier, le son plus sûr, la justesse plus facile, mais, comme nous venons de le dire, nous n'aurions plus ni hautbois, ni cor anglais, ni basson; du moins les artistes ne reconnaîtraient plus dans les nouveaux instruments ceux qu'ils seraient appelés à remplacer.

Du reste, les perfectionnements dont il s'agit ont été réalisés en partie. La maison Gautrot, de Paris, fabrique tout une catégorie d'instruments qu'elle appelle **SARRUSOPHONES**. Ils

sont au nombre de huit, à la quinte ou à la quarte, inférieures, l'un de l'autre;

Sopranino,	en *mi*^{b}
Soprano,	en *si*^{b}
Contralto,	en *mi*^{b}
Ténor,	en *si*^{b}
Baryton.	en *mi*^{b}
Basse,	en *si*^{b}
Contrebasse,	en *mi*^{b}
Contrebasson,	en *si*^{b}

La manière d'écrire et l'effet réel sont semblables à ceux des saxophones que nous verrons plus loin, avec cette différence cependant que les sarrusophones ont un *si*^{b} au grave.

L'anche employée est double, la perce est de forme conique. Ces instruments sont en cuivre, mais, nous l'avons vu, ce métal n'apporte aucune modification au timbre et n'est employé que pour faciliter la fabrication. Ces instruments ont été construits pour être substitués, dans la musique militaire, aux hautbois, cors anglais et bassons; mais, jusqu'à présent, que nous sachions, ce remplacement n'a pas été fort goûté, parce que le timbre est si différent, par suite des proportions et des divisions régulières des tuyaux, que les sarrusophones sont considérés par les artistes comme une famille spéciale, n'ayant aucune analogie avec celle des hautbois.

Cependant, en reconnaissant même un timbre particulier à cette nouvelle famille d'instruments, il est hors de doute que son introduction dans les corps de musique militaire n'y pourrait produire que de bons résultats. Jamais l'instrumentation ne sera trop riche en variétés de timbres et l'emploi des sarrusophones doit inévitablement créer une source féconde d'effets nouveaux.

L'invention des **SAXOPHONES** est due à M. Adolphe Sax. Ils composent une famille complète, dont voici les membres principaux :

Le soprano en *si*^{b},
L'alto en *mi*^{b}, à la quinte grave du précédent;
Le ténor en *si*^{b}, à la quarte grave du précédent ;
Le baryton en *mi*^{b}, à la quinte grave du précédent.

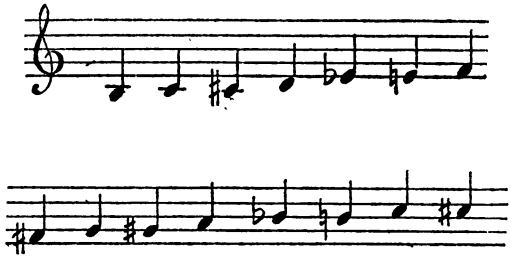
L'anche battante en roseau, appliquée sur un bec à peu près semblable à celui de la clarinette, est le producteur du son. La colonne d'air est conique, ce qui range ces instruments parmi ceux dont la construction repose sur les tuyaux ouverts.

En décrivant le saxophone alto en *mi*^{b}, l'instrument de ce genre le plus généralement employé, nous pourrons nous dispenser de parler des autres, dont le principe est, sous le rapport de la construction, absolument semblable.

Le son le plus grave du saxophone alto en *mi*$_b$ se note *si* et

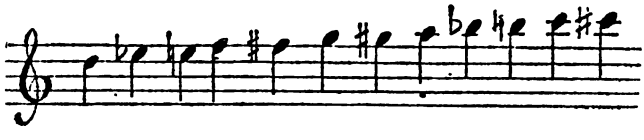
est accordé à l'unisson du *ré*$_2$ de 290.25 vibrations simples. La longueur totale théorique du tuyau est donc de $1^m,171$.

Au moyen des clefs disposées de façon à diminuer progressivement la longueur de la colonne d'air de demi en demi-ton chromatique, nous pouvons produire les sons fondamentaux suivants :



dont l'effet est à la sixte majeure grave de la note écrite.

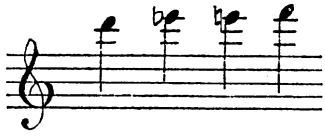
Au moyen de deux clefs à octavier placées à quelque distance l'une de l'autre et dont le rôle est, comme pour les instruments similaires décrits précédemment, de faire octavier les sons fondamentaux, nous obtenons les notes :



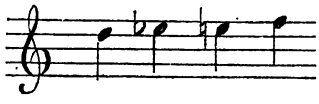
On ne se sert pas, comme on peut le remarquer, des deuxièmes harmoniques des trois premiers sons fondamentaux, parce qu'ils feraient double emploi avec les trois derniers (*).

(*) Cette observation est applicable à tous les hautbois. Pour faire octavier ces sons fondamentaux convenablement, il faudrait disposer d'une troisième clef à octavier placée à une plus grande distance du bec, ce qui compliquerait inutilement le mécanisme, puisque la production de ces notes s'obtient comme sons fondamentaux.

Pour compléter l'étendue du saxophone, on produit les notes :



au moyen de quatre clefs placées dans le haut de l'instrument, à la suite des autres, et calculées de façon à ce qu'elles donnent les deuxièmes harmoniques des sons :



dont l'usage comme notes fondamentales, n'est pas nécessaire.

VOIX HUMAINE.

La *voix humaine*, le plus parfait des instruments de musique se classe parmi les instruments à anche pour les raisons que nous allons examiner.

L'appareil vocal se compose d'un canal, *trachée artère*, qui reçoit l'air des poumons faisant fonction de soufflets ; l'air traverse le canal pour arriver à l'ouverture de la glotte, fente étroite, dont les bords vibrent comme les lames des anches, et émettent les ondes sonores lorsqu'elles sont tendues par l'action volontaire de muscles spéciaux.

Les bords de la glotte, véritables *anches vocales*, vibrent en harmonie avec les différentes positions du tuyau vocal qui s'étend de la glotte à l'ouverture de la bouche et qui fonctionne ici, pour modifier les timbres, absolument comme la partie supérieure des tuyaux à anche. La voix possède deux registres.

Dans les sons de poitrine les bords de la glotte vibrent dans leur totalité, dans les sons de *fausset*, les anches vocales ne vibrent que par leurs bords.

Chez les femmes et les enfants l'ouverture de la glotte est beaucoup plus petite que chez l'homme; aussi leur voix est-elle plus aiguë de toute une octave. Chez l'enfant mâle, le glotte acquiert un plus grand développement vers l'âge de quinze ans. On dit alors que la voix mue et elle baisse de toute une octave.

Le diapason des voix et leur étendue peuvent se classer d'après le tableau suivant :

VOIX DE FEMME.

Soprano	du $ré_3$ à ut_5.
Mezzo soprano	du si^b_2 au fa_4.
Contralto	du fa_2 au $ré_4$.

VOIX D'HOMME.

1er ténor	du mi_2 à ut_4.
2me ténor	du si_{b1} au fa_3.
Baryton	du sol_1 au mi_3.
Basse	du fa_1 au mi_{b1}.

Ces limites ne sont pas absolues et doivent être restreintes un peu pour les voix traitées en chœur.

Radeau, dans son excellent ouvrage « *L'Acoustique ou les Phénomènes du son* », nous rappelle quelques exemples de voix vraiment extraordinaires; il cite le castrat Farinelli dont la voix allait du fa_1 au $ré_5$ et La Bastardella que Mozart, dans une lettre à sa sœur, dit avoir entendu à Parme en 1770, et dont la voix atteignait l'ut_6.

Quoiqu'il ne soit pas tout à fait conforme à notre plan de décrire dans ce chapitre l'organe auditif, nous croyons pouvoir nous permettre cette courte digression pour ne pas séparer les descriptions de l'organe auditif et de l'appareil vocal.

ORGANE AUDITIF.

Cet appareil, dont la figure suivante offre le dessin assez exact, se divise en trois parties, l'oreille externe, l'oreille moyen et l'oreille interne.

L'*organe externe* se compose du *pavillon*, organe charnu renforcé de cartillage et destiné à concentrer les ondes sonores vers le *conduit auditif* A. Le conduit auditif est fermé par le la *membrane du tympan* B.

L'*oreille moyenne* est située derrière le tympan. C'est une

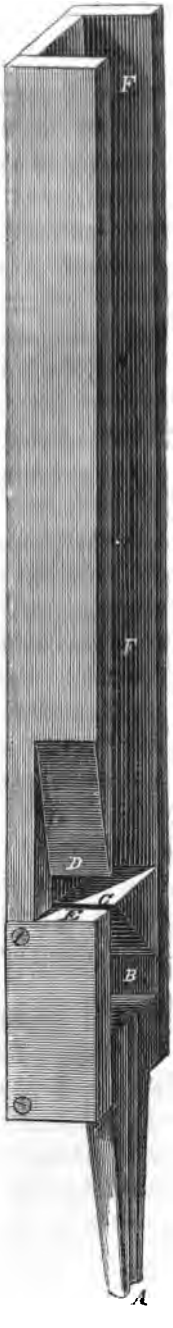
sorte de caisse creusée dans la partie la plus dure de l'os temporal et qui communique avec la bouche au moyen d'un conduit C, appelée *trompe d'Eustache*. Au moyen de ce conduit, l'air que contient la caisse de l'oreille moyenne s'équilibre avec l'atmosphère.

Dans la paroi de la caisse opposée au tympan se trouvent deux ouvertures : la *fenêtre ronde* R, la *fenêtre ovale* O. La première est fermée par une petite membrane très-mince, la seconde par une portion de la *chaîne des osselets*. Cette partie a exactement le contour de la fenêtre ovale et s'appelle l'*étrier*, l'autre partie qui s'appuie contre le tympan, porte le nom de *marteau*, la tête de ce dernier s'appuie contre l'*enclume* F ; la quatrième partie de cette chaine des osselets est l'*os lenticulaire;* il aboutit à l'étrier.

L'*oreille interne* ou *labyrinthe* se compose : du *vestibule* I, sorte de cavité osseuse communiquant avec la fenêtre ovale; du *limaçon* K, organe cartilagineux ayant la forme d'une coquille turbinée communiquant avec la fenêtre ronde; et *des canaux semi-circulaires* L. Le labyrinthe est doublé à l'intérieur d'une espèce de sac membraneux nageant dans un liquide transparent appelé vitrée acoustique où viennent aboutir les rameaux du nerf acoustique M. Le limaçon et le vestibule communiquent aussi entre eux.

Les ondes sonores qui viennent frapper la membrane du tympan se communiquent à l'oreille interne par les parties de l'oreille moyenne et font vibrer le liquide du labyrinthe lequel, à son tour, transmet les vibrations au nerf acoustique qui les transporte au cerveau.

La membrane intérieure du limaçon est tapissée d'un nombre considérable de fibres élastiques au nombre de plus de 3,000. Elles portent le nom de celui qui les a découvertes : fibres de Corti. Ces fibres, a dit M. Helmholtz, dans une hypothèse très-hardie, que la science semble vouloir confirmer depuis, sont accordées chacune pour une autre note, et leur nombre est si grand que, quel que soit le son émis, ce dernier rencontre tou-



jours une fibre à l'unisson, vibrant sympathiquement sous son influence, pour transmettre la sensation du cerveau.

TUYAUX A BOUCHE.

Les instruments de musique dont la construction repose sur ces sortes de tuyaux, sont loin d'être aussi nombreux que ceux qui nous ont occupé dans l'étude des tuyaux à anche.

Nous pouvons diviser les tuyaux à bouche en deux catégories principales : les tuyaux à bouche, proprement dits et les tuyaux de flûte.

TUYAUX A BOUCHE.

Les *tuyaux à bouche* sont ceux dans lesquels le son se produit par un courant d'air qui vient se briser contre une lame de bois ou de métal taillée en biseau. La figure ci-contre représente la moitié d'un tuyau à bouche. La section est faite pour montrer les différentes parties dont le tuyau se compose.

L'air arrive dans le porte-vent B par le tuyau A ; passe par la lumière C, et vient se briser contre le biseau D, qu'on appelle *la lèvre supérieure*. L'ouverture latérale D E est la bouche du tuyau, E en est la lèvre inférieure.

L'air, en se brisant contre la lèvre supérieure se comprime, s'arrête un instant, puis continuant d'arriver, se comprime de nouveau, et finalement entre en vibration par ces intermittences successives. Le tuyau F adapté renforce le son, et pour que ce renforcement ait lieu dans de bonnes conditions, il faut nécessairement que certains rapports existent entre les proportions de la bouche, des lèvres, de la lumière et celles du tuyau. Lorsqu'on s'en écarte trop, le tuyau ne parle pas ou parle mal.

TUYAUX D'ORGUE. Les tuyaux à bouche ont leur emploi principal dans la fabrication des orgues. On les trouve dans ces instruments en tuyaux rectangulaires, coniques (de bas en haut, de haut en bas) cylindriques, en tuyaux ouverts, en tuyaux fermés ou bourdons, en tuyaux à cheminée. Ces derniers sont fermés par un fond annulaire au centre duquel se place un tuyau étroit appelé cheminée. Ces différents tuyaux se fabriquent en bois ou en métal. Le choix de la matière n'a d'autre but que de donner, avec facilité, les variétés de formes d'où naît la différence de timbre des colonnes d'air en vibration.

Une série de sons de même timbre dus à des tuyaux homogènes prend le nom de *registre*.

Dans l'orgue, où le courant d'air est produit à l'aide d'une soufflerie mécanique, il n'y a d'autres limites à la construction des tuyaux que celles qui déterminent le son lui-même. Les anciennes dénominations que nous avons rappelées dans le tableau page 86, nous indiquent que les longueurs de tuyaux varient entre 32 pieds et trois pouces environ. Ces différences déterminent l'étendue de l'orgue.

On dit d'un orgue *que c'est un* 32 *pieds*, lorsqu'il possède des sons qui appartiennent à l'octave qui porte ce nom. Un orgue est dit 32 *pieds en bourdon,* lorsqu'il a pour limite au grave des tuyaux bouchés qui appartiennent à l'octave de 16 pieds. N'oublions pas que le tuyau bouché résonne à l'octave inférieure du tuyau ouvert.

Ainsi, supposons que nous voulions construire un tuyau à bouche à l'unisson de l'*ut* $_1$, de 64,6 vibrations simples. Sa longueur théorique sera de $5^m,258$ en tuyau ouvert et de $2^m,629$ seulement en bourdon.

La profondeur des tuyaux est naturellement proportionnelle à leur longueur; car, de même que pour les instruments de cuivre, un tuyau trop étroit par rapport à sa longueur, ne pourrait donner le son fondamental; la plus légère pression d'air suffirait pour le diviser de telle sorte qu'il produirait l'un de ses harmoniques.

La profondeur des tuyaux d'orgue exerce une assez grande influence sur le résultat du calcul de la longueur pratique.

Nous avons déjà dit que les longueurs s'écartent plus ou moins de celles qui sont déterminées par la théorie. On doit à M. Cavaillé Coll, facteur d'orgues, de Paris, une loi qui permet de préciser la différence entre la théorie et la pratique, et de calculer exactement la longueur d'un tuyau d'orgue.

Cette loi a été présentée à l'Académie des sciences de Paris, dans la séance du 23 janvier 1860. Elle se résume ainsi :

La largeur du tuyau rectangulaire est sans importance sur le son produit. On appelle *largeur* la dimension sur laquelle s'établit la bouche.

La profondeur est la dimension perpendiculaire à la largeur; elle joue un rôle assez important : plus elle est grande, plus le son est grave. L'influence de cette profondeur pour les tuyaux rectangulaires, se détermine par la formule suivante :

$$L = \frac{V}{N} - 2\,P$$

dans laquelle L représente la longueur cherchée, V la vitesse du son, N le nombre de vibrations, P la profondeur. C'est à dire que la longueur théorique du tuyau ouvert doit être diminuée de deux fois la profondeur du tuyau.

Dans les tuyaux d'orgues cylindriques, la bouche est formée

par un aplatissement du tuyau prenant le quart environ de la circonférence ; cet aplatissement forme une corde sous-tendant un arc égal aux trois quarts de la circonférence. Or, si de cette corde on abaisse une perpendiculaire, on la trouve approximativement égale aux 5/6 du diamètre, ce qui correspond, toujours d'après M. Cavaillé-Coll, à la profondeur du tuyau rectangulaire. La formule primitive devient donc pour les tuyaux cylindriques :

$$L = \frac{V}{N} - 2\left(D\,\frac{5}{6}\right) \text{ ou } = \frac{V}{N} - D\,\frac{5}{3}$$

dans laquelle D désigne le diamètre. Ce qui revient à dire que la longueur théorique, pour un tuyau cylindrique, doit être diminuée d'une longueur égale aux 5/3 du diamètre.

Ces formules, dont l'importance ne saurait être contestée, sont cependant ignorées de beaucoup de facteurs d'orgues; la science du plus grand nombre se limite aux connaissances empiriques acquises par le tâtonnement.

On appelle *tuyaux octaviants* les tuyaux d'orgues qui, n'employant pas le son fondamental, reçoivent du constructeur la faculté de produire, comme premier son, leur deuxième harmonique. Cette propriété s'obtient à l'aide d'un petit trou percé à la moitié de la longueur du tuyau. Cette ouverture en donnant lieu à la formation d'un ventre de vibration provoque le partage du tuyau dans les conditions requises pour la production du deuxième harmonique.

On pourrait, de la même manière, produire des tuyaux quintoyants.

Les jeux de l'orgue se divisent en trois espèces principales:

1° Les jeux de flûte qu'on désigne aussi sous le nom de jeux doux ou jeux de fond.

2° Les jeux de mutation ou jeux de mélange.

3° Les jeux d'anches ou jeux bruyants.

Chacun de ces jeux comprend des registres portant des noms

différents et qui varient en nombre d'après l'importance de l'orgue.

Les *jeux de flûte* sont ceux dont la construction a été décrite précédemment sous le nom de tuyaux à bouche.

On appelle *jeux de mutation*, les registres qui font entendre, en même temps que les véritables notes de l'harmonie exécutées en jeux de fond, toute une série de sons accordés en octave, quinte, quarte, tierce, etc. Ainsi, pour un *ut*, et si cet *ut* est dominant, le registre est combiné de telle sorte qu'il soit accompagné de *sol*, *do*, *mi*, etc., dans des proportions modérées et de façon à ce que les jeux de fond dominent. Les jeux de mutation donnent naturellement lieu à des suites d'octaves et de quintes défendues par les lois de l'harmonie; mais ces successions fautives ne blessent pas plus l'oreille que ne le font les sons harmoniques qui accompagnent les sons composés pour déterminer le timbre de ces derniers.

Les *jeux d'anches* ont été décrits page 83.

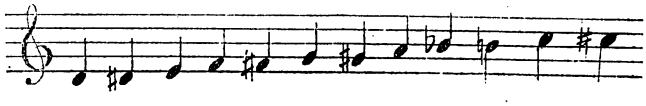
FLAGEOLET. Cet instrument est le dernier reste d'une ancienne famille d'instruments appelés *flûtes à bec;* encore, le flageolet n'est-il employé que dans quelques rares orchestres de danse.

Flageolet.

Le flageolet le plus généralement employé est le flageolet en *sol*, dont la note la plus grave, *ré*, est accordée à l'unisson du la_4, de 1,740 vibrations simples. Sa longueur théorique est donc de $0^m,195$. Il est important de remarquer que cette longueur ne compte qu'à partir de la lumière placée au-dessus de la lèvre supérieure A, jusqu'à l'extrémité inférieure de l'instrument; toute la partie supérieure que nous appelons *porte-vent*, n'a pour raison d'être qu'une question de forme.

On nous a quelquefois demandé le motif pour lequel on s'était borné à construire des flageolets de si petite taille. La réponse est simple. La construction de cet instrument appartient à un genre de tuyaux dans lesquels le son est produit par un *courant* d'air. Pour produire des sons graves, il faudrait non-seulement allonger le tuyau mais lui donner une largeur proportionnelle et la poitrine humaine ne suffirait pas à alimenter des tuyaux dont les proportions exigent une grande dépense d'air pour entrer en vibration.

Au moyen de quatre trous percés sur le devant de l'instrument, de deux trous derrière, de fourches et de demi-trous, le flageolet donne la série des sons fondamentaux :



lesquels sautent à l'octave par suite d'une plus forte pression d'air.

L'étendue à l'aigu est complétée par quelques notes dues à la production de troisièmes harmoniques.

La construction primitive de l'instrument a été modifiée par l'emploi de quelques clefs; celles-ci permettent un doigté plus régulier et suppriment, en grande partie, les défauts de justesse inhérents à la construction de l'ancien instrument.

TUYAUX DE FLUTE.

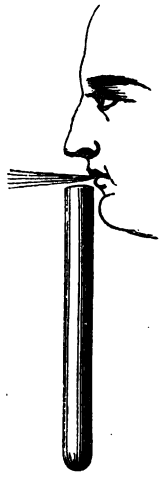
La mise en vibration des tuyaux de cette espèce est provoquée par un courant d'air qui vient se briser contre l'angle d'un trou servant d'embouchure. Les instruments de musique dont la construction est basée sur ce principe sont peu nom-

breux. Nous ne parlerons que des deux principaux, la flûte de Pan et la flûte traversière.

FLUTE DE PAN. L'origine de cet instrument se perd dans la nuit des temps; il fut connu de tous les peuples de l'antiquité.

Il consiste, en un assemblage de tuyaux dont les longueurs sont déterminées de telle façon qu'en suivant l'ordre de la succession des tuyaux, la série des sons qu'ils représentent se produit sans autre effort de l'exécutant que la mise en vibration des tuyaux.

Ce résultat s'obtient par l'insufflation de l'air contre les bords de l'ouverture ménagée à l'extrémité supérieure du tuyau.



Par une particularité de ce mode de vibration, les tuyaux ouverts ne parlent que très-imparfaitement tandis que les tuyaux fermés résonnent avec une facilité remarquable et une sûreté d'intonation telle qu'ils pourraient presque servir à construire des diapasons.

Dans ce dernier but, nous avons construit des tuyaux qui, à l'aide d'un piston gradué, raccourcissant la colonne d'air, produisaient tout une gamme chromatique parfaitement juste. L'ancien diapason Choriste-sifflet dont la construction est à peu près semblable, est inférieur sous le rapport de la sûreté de l'intonation.

Comme tous les tuyaux fermés, la flûte de Pan ne peut renforcer que les harmoniques impairs; mais la longueur limitée de ces tuyaux, exigée pour conserver une sonorité suffisante, ne permet pas de mettre les harmoniques à profit. L'emploi de ces tuyaux est donc limité à leur son fondamental.

Nous avons expérimenté qu'il devient difficile d'ébranler par l'insufflation à la partie supérieure, des tuyaux de plus de 33 centimètres. Cette longueur donne, à peu de chose près, (voir le tableau de la page 86) un ut_3 de 517,2 vibrations simples. A l'aigu, on peut obtenir les derniers sons de l'octave 6.

L'influence de la perce sur la longueur de ces tuyaux peut, d'après des expériences que nous avons faites, se traduire par un abaissement égal en longueur à la moitié du diamètre. Ainsi, pour déterminer la longueur d'un tuyau ayant deux centimètres de diamètre et donnant un ut_4 de 1034,5 vibrations simples, il faut diminuer la longueur théorique du tuyau fermé de la moitié du diamètre, ce qui donne pour longueur exacte de ce tuyau :

$$0.164 - 0.010 = 0.154.$$

FLUTE TRAVERSIÈRE. On appelle *flûte traversière*, l'instrument dont la colonne d'air est ébranlée par les intermittences qui naissent d'un courant d'air dirigé par les lèvres contre l'angle d'un trou latéral placé dans la partie supérieure de l'instrument, et servant d'embouchure.

On a construit des flûtes dans presque tous les tons, mais voici celles qui sont le plus généralement employées :

flûte en *ré* ;
» en *mi♭*, à la seconde mineure supérieure de la précédente ;
» en *fa*, appelée aussi flûte tierce, à la seconde majeure supérieure de la précédente ;
petite flûte en *ré*, à l'octave supérieure de la première ;
petite flûte en *mi♭*, à l'octave supérieure de la seconde.

L'instrument principal est la grande flûte en *ré;* c'est de cet instrument que nous nous occuperons pour exami-

Flûte ordinaire.

Flûte Bœhm.

ner la théorie qui règle la construction des différents membres de cette famille. Avant de nous occuper de cette

théorie, nous croyons utile de faire remarquer que, par suite d'un usage presque général, on désigne la tonalité de la flûte par le son que produit, en effet réel, le *ré* de ces instruments. Il en résulte que la grande flûte en *ré* est réellement en *ut*, puisque le *ré* a pour effet réel un *ré;* que la flûte dite en *mi*^{b}, est réellement en *ré*^{b}, puisque le *ré* de cet instrument donne un *mi*^{b} en effet réel. Cette habitude provient de ce qu'anciennement, et même aujourd'hui encore dans plusieurs genres de flûtes, le *ré* est la note la plus grave et conséquemment celle qui se produit par sa longueur totale; la tonalité s'indiquait d'après l'effet réel produit par la plus grande longueur de tuyau employé.

La flûte traversière se construit en tuyaux coniques ou cylindriques. C'est cette dernière forme donnée à la perce qui tend à se généraliser; c'est la seule qui permette de prendre la science pour guide à la division du tuyau et d'abandonner les résultats obtenus par la routine.

Le tuyau de la flûte traversière est un tube ouvert produisant les harmoniques 2, 3, 4, etc.; seulement, la colonne d'air étant ébranlée par une ouverture latérale plus petite que le diamètre du tuyau, celui-ci est *partiellement bouché;* de là le son qu'il produit est plus grave que celui indiqué par la théorie.

La longueur du tuyau se mesure depuis le centre de l'ouverture latérale servant d'embouchure, jusqu'à l'extrémité du tuyau. Plus le trou de l'embouchure est grand, plus le tuyau se rapproche du tuyau entièrement ouvert et conséquemment, plus le son est élevé.

La fermeture établie à la partie supérieure de la flûte est absolument nécessaire. Si la flûte était ouverte de ce côté, nous ne serions plus dans le cas du tuyau partiellement bouché, et de plus l'embouchure se trouverait en présence de deux tuyaux dissemblables, l'un à gauche, l'autre à droite.

La fermeture supérieure est donc nécessaire pour limiter la longueur du tuyau placé à la droite de l'embouchure, elle ne

peut servir dans aucun cas à accorder la flûte sur des diapasons différents. Cet accord doit se faire par une coulisse établie à cet effet entre le trou qui sert d'embouchure et les trous qui établissent les divisions latérales du tuyau. Du reste, l'allongement d'un tuyau ne pourrait amener que de très-mauvais résultats pour l'accord d'un instrument dont la construction est basée sur la division du tube en progression géométrique. Cet allongement produit, il est vrai, un abaissement de diapason, mais cet effet très-sensible sur les trous les plus rapprochés, diminue au fur et à mesure que les trous s'éloignent de la place ou l'allongement a été fait.

La fermeture établie à gauche de l'embouchure est ordinairement munie d'une vis de rappel; celle-ci permet d'éloigner la fermeture du trou d'embouchure en établissant à la gauche de celui-ci une sorte de cavité dont voici le but : Dans les anciennes flûtes, où la perce allait en diminuant vers la partie inférieure de l'instrument, ce rétrécissement progressif du tuyau causait pour le son fondamental, un abaissement qui n'avait pas lieu dans une proportion semblable pour les harmoniques, de sorte que ceux-ci se trouvaient toujours trop hauts par rapport au son fondamental. Le hasard fit découvrir qu'en établissant une cavité à la gauche du trou d'embouchure, le partage du tuyau nécessaire à la production des harmoniques, s'opérait en établissant le rapport nécessaire entre les uns et les autres. Pour arriver à ce résultat la dimension de cette cavité n'est pas indifférente et c'est pour l'établir de façon à assurer l'exactitude de ces rapports que la fermeture est munie d'une vis de rappel.

Dans les flûtes où la forme cylindrique de la perce est parfaitement observée, cette cavité n'est pas nécessaire; les harmoniques se produisent dans un rapport exact avec le son fondamental, mais on a la faculté de recourir à la vis de rappel pour remédier aux petites différences qui pourraient se produire, malgré l'exactitude du travail.

C'est Théobald Boëhm qui le premier, pensons-nous, a essayé de construire la flûte traversière sur les données four-

nies par la science en donnant au tuyau une perce cylindrique et aux trous latéraux une grandeur et un emplacement rationnels. C'est aussi lui qui, le premier, a essayé d'expliquer théoriquement (*) la division du tube de la flûte; mais l'étude de l'ouvrage dans lequel il a exposé ses principes, nous a démontré que Boëhm, ou n'a pas pratiquement appliqué sa théorie, ou n'a pas divulgué complétement le résultat de ses recherches. Il est à regretter pour le célèbre réformateur de la flûte, qu'il ne se soit pas pénétré de ce principe, résultant d'ailleurs de sa théorie, que l'air est le seul corps vibrant dans la flûte aussi bien que dans tous les autres instruments à vent; il n'eût pas alors écrit, à la fin de son livre, les quelques lignes qui suivent et qui, d'après nous, déparent tout son travail :

« Après que j'eus bien établi les rapports acoustiques, j'examinai l'influence des différents métaux sur la qualité du son.

» Les tubes en étain qui ne possèdent relativement qu'une faible élasticité, donnaient les sons les plus mous et aussi les plus faibles; ceux faits en argent neuf, métal dur et cassant, avaient au contraire les sons les plus clairs, mais en même temps les plus aigres (*schärfsten klingenden*); les tubes en argent ou en cuivre donnaient les sons les plus parfaits sous tous les rapports; leur comparaison avec les sons des flûtes construites en bois mettait en relief la sonorité de bois (*hölzern klingen*) de ces derniers.

» L'intonation des sons devient remarquablement douce, facile et sonore, si les tubes sont minces et durcis (*hart gezogen*), l'élasticité s'accroît et par conséquent les qualités vibrantes du métal sont augmentées de beaucoup. »

On se refuserait à croire, si ce n'était écrit, qu'un homme de la valeur de Boëhm et qui renversait de fond en comble les

(*) *Ueber den Flötenbau und die neuesten Verbesserungen desselben.* — Schotte et fils. Mayence, 1847.

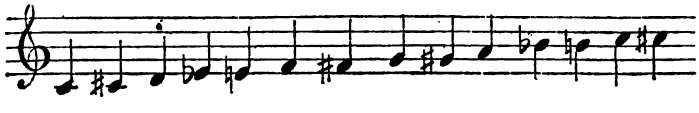
principes présidant depuis des siècles à la construction de la flûte traversière, n'ait pas su se débarrasser complétement des préjugés auxquels, d'un autre côté, il portait un si rude coup !

Mais revenons à la division de notre tuyau.

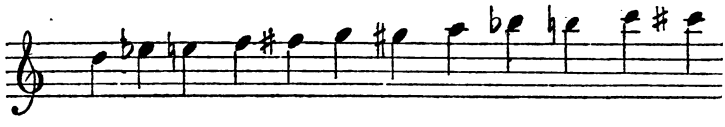
Nous avons dit que l'embouchure fermant partiellement le tuyau lui faisait rendre des sons plus bas que ceux indiqués par la théorie. Cet abaissement est peu important et il est facile d'en éviter les conséquences.

Supposons la construction de la grande flûte d'orchestre dite en *ré*. Le son le plus grave de cet instrument, *ut*, est accordé sur l'ut_3 de 517,2 vibrations simples, et conséquemment, la longueur théorique est égale à $0^m,657$. Cette longueur se trouvera être trop grande, en raison d'abord du principe dont nous venons de parler, et ensuite à cause de l'influence de la perce qui est ici la même que celle déterminée plus haut pour les tuyaux de la flûte de Pan. Nous aurons à la diminuer de 4 à 5 centimètres pour l'accorder sur l'ut_3 donnant exactement 517,2 vibrations simples. Prenons la différence entre la longueur théorique et la longueur exigée par la pratique : supposons qu'elle soit de 0,047; cette différence sera la même pour tous les demi-tons de notre échelle chromatique et nous pourrons obtenir la division du tube en nous servant des indications données pour la construction de la clarinette, en observant toutefois que dans le cas qui nous occupe il s'agit d'un tuyau ouvert, tandis que la clarinette est un tuyau fermé.

La division du tube étant faite, la flûte donne la série des sons fondamentaux :



lesquels par une pression plus forte de l'air, sautent au second harmonique et nous donnent les sons :



On supprime l'octave de deux premiers sons fondamentaux parce qu'ils sont fournis par des sons fondamentaux mêmes, par les deux derniers de la série.

L'étendue de la flûte ne s'arrête pas là ; elle se complète par une troisième octave dont les sons se choisissent parmi ceux qui sont fournis par les harmoniques 3 ou 4.

On a construit des flûtes descendant jusqu'au si_2 de 488,2 vibrations et même jusqu'au la_2 de 435 vibrations, mais ce sont là des innovations dont les résultats ne sont pas heureux parce qu'il est difficile de faire vibrer au moyen d'un trou latéral servant d'embouchure et avec une sonorité suffisante, des colonnes d'air d'une aussi grande longueur.

La flûte ordinaire, percée de six trous et munie de cinq clefs, a la perce conique; sa partie la plus large se trouve à l'embouchure et le cône va en se rétrécissant jusqu'à la partie inférieure de l'instrument. Le développement de la perce changeant avec l'ouverture de chaque trou, il serait difficile, sinon impossible, de calculer l'emplacement rationnel des trous latéraux ; aussi la construction de ces instruments, quoique expliquée théoriquement, n'admet pas l'application des données de la science. La justesse dépend des recherches expérimentales du facteur, et celui-là produit les meilleures flûtes qui est parvenu par le tâtonnement à se faire le meilleur modèle. Dans ces instruments, le doigté ordinaire se complique de fourches et de clefs destinées à corriger les défauts de justesse provenant de leur construction vicieuse. Ordinairement l'éten-

due de la flûte se limite au *ré*, troisième son fondamental. Cependant quelques instruments peuvent, à l'aide d'un allongement de tuyau et deux clefs, produire l'*ut* et l'*ut dièse* graves, de même que la flûte Bœhm. Ce mécanisme est appelé *patte d'ut* et n'est appliqué qu'aux grandes flûtes.

CHAPITRE IV.

VIBRATION DES VERGES, DES LAMES, DES PLAQUES ET DES MEMBRANES.

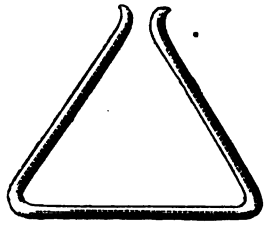
Ce chapitre n'est pas d'une grande importance. Il n'y a que peu d'instruments de musique dont la construction se base sur les principes que nous allons examiner.

VIBRATION DES VERGES ET DES LAMES. Ces vibrations sont produites par l'élasticité des corps dérangés de leur position d'équilibre soit par la percussion, soit par le frottement. Les vibrations sont transversales ou longitudinales. On obtient les premières en fixant la verge ou la lame par un bout, et en frottant la partie libre par l'archet dans le sens opposé à la longueur, ou en l'écartant par le doigt de la position d'équilibre.

Ces vibrations sont, pour les verges et les plaques de même nature, *en raison directe de leur épaisseur et en raison inverse du carré de leur longueur.* La largeur des lames n'a qu'une légère influence sur la hauteur du son produit.

Le triangle est une verge d'acier pliée de façon à lui donner la forme indiquée par le nom qu'il porte; les sons se produisent en frappant l'un des trois côtés au moyen d'une baguette de même métal. L'instrument est suspendu par une corde ou

un ruban de façon à l'isoler de la main dont le contact absorberait la plus grande partie des vibrations.



Le triangle vibre de telle sorte qu'outre le son fondamental, il se produit une quantité d'harmoniques dont le mélange discordant ne permet pas d'apprécier exactement la hauteur du son obtenu; c'est précisément ce qui permet d'employer le triangle et la plupart des instruments à percussion dans toutes les tonalités : cet emploi deviendrait naturellement impossible si ces instruments produisaient des sons dont la hauteur facilement appréciable, blesseraient l'oreille dans l'ensemble harmonique où ces sons seraient étrangers.

Les vibrations longitudinales dans une verge, sont produites par le frottement dans le sens de sa longueur, avec un morceau d'étoffe de laine saupoudrée de colophane; seulement il est essentiel, pour obtenir un son, de fixer la verge en un point déterminant une de ses parties aliquotes, soit à la moitié, au tiers, au quart, etc. Les vibrations longitudinales des verges sont *en raison inverse de leur longueur*, quel que soit leur diamètre. Ces sortes de vibrations ne sont guère employées.

On se sert des vibrations transversales des lames dans la construction des boîtes à musique, en adoptant pour l'accord la loi que nous venons de formuler. On s'en sert aussi pour la construction des carillons en acier, de l'instrument appelée *claquebois*, etc.

Les carillons sont composés de lames d'acier produisant des sons par la percussion d'un petit marteau. Leur accord est soumis à la loi que nous avons énoncée, c'est-à-dire que les vibrations sont en raison directe de leur épaisseur et en raison inverse du carré de leur longueur.

Ainsi, si l'on voulait produire une gamme chromatique au moyen de lames d'acier de même longueur, il suffirait d'augmenter l'épaisseur des lames dans un rapport semblable à celui qui constitue la différence d'un demi-ton à un autre. Ce rapport est, comme nous le verrons plus loin, égal à la racine douzième de 2, et conséquemment à 1,0594631.

En supposant que pour un *ut* quelconque nous ayons une longueur de 13 centimètres et une épaisseur de 5 millimètres, nous obtiendrons une gamme chromatique parfaitement juste en multipliant l'épaisseur de chaque demi-ton par 1,0594631.

Ainsi, pour *ut*, nous aurions 5 millimètres d'épaisseur

ut dièse	»	$5^m,297$
ré	»	$5^m,611$

et ainsi de suite.

La différence entre l'épaisseur des lames est difficile à établir; on préfère généralement ne se servir que de la loi des longueurs en conservant aux lames une épaisseur uniforme.

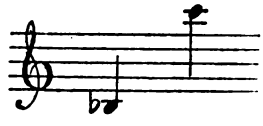
D'après l'énoncé de cette loi, nous savons qu'en diminuant la lame de la moitié de sa longueur, on obtient un nombre de vibrations *quatre* fois plus grand.

Ainsi, si l'ut_5 de 2069 vibrations simples exige, avec une lame de 5 millimètres d'épaisseur, une longueur de 18 centimètres, l'ut_7 de 8276 vibrations simples sera produit par une lame de 9 centimètres de longueur.

Entre l'ut_5 et l'ut_7, nous avons 24 demi-tons et pour obtenir un rapport de demi ton entre la longueur des lames il faut, en vertu de la loi des longueurs que nous connaissons multiplier 24 fois de suite la plus petite longueur par la racine

vingt-quatrième de 2, ce qui nous donnera les longueurs de chacune des lames correspondant aux 24 demi-tons chromatiques qui se trouvent entre l'ut_5 et l'ut_7. Cette racine est égale à 1,0293.

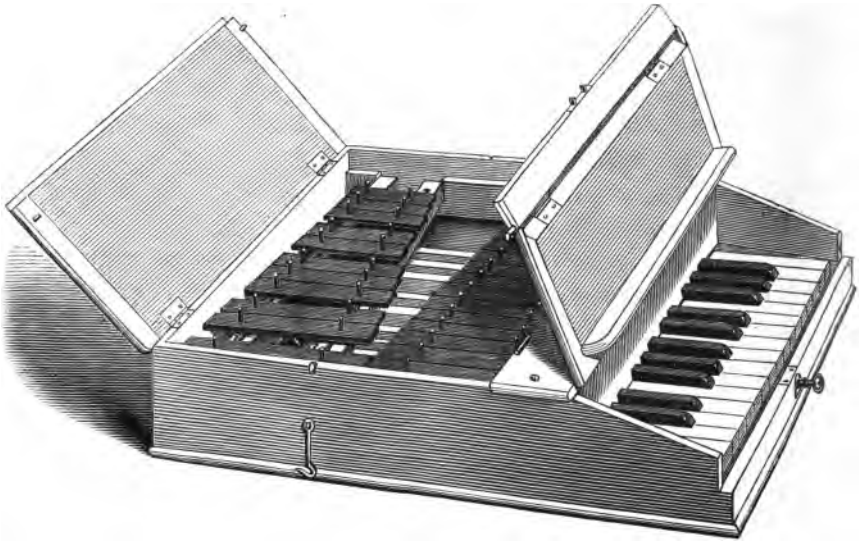
On a pour habitude de noter les sons du carillon en leur donnant l'étendue de :



avec tous les intervalles chromatiques, mais l'effet réel se trouve être de deux octaves au-dessus.

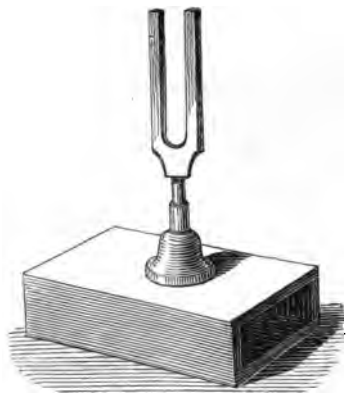
La percussion au moyen d'un marteau est assez difficile; elle exige beaucoup d'adresse. Pour simplifier l'usage de ces instruments secondaires la maison Mahillon les a récemment munis d'un clavier ce qui les rend très-faciles à jouer.

Voici le dessin du nouveau carillon.



Lorsqu'on dépasse la longueur de la lame nécessaire au si^b_4 de 1844 vibrations simples, le son commence à perdre sa certitude et il devient difficile de contrôler son accord; on arrive pourtant à augmenter l'étendue au grave en prenant des lames très-minces résonnant très-faiblement, il est vrai, mais on augmente la sonorité en les plaçant sur l'ouverture d'une boîte de résonnance dont la cavité est accordée à l'unisson du son à produire.

Les dimensions des *boîtes de résonnance* ne sont pas aussi difficiles à calculer qu'on se l'imagine généralement. Nous avons obtenu d'excellents résultats en nous basant sur la règle suivante que la pratique nous a enseignée : La boîte de résonnance fonctionnant comme un tuyau fermé, diminuez la longueur théorique du tuyau fermé nécessaire au son à renforcer, de la moitié de la hauteur de la boîte et négligez sa largeur. Ainsi, la boîte de résonnance, en supposant qu'elle ait 50 millimètres de hauteur, doit être, pour un la_3 de 870 vibrations simples, de $0^m,195 - \frac{0^m,050}{2} = 0^m,170$. Cette boîte, ordinairement de forme carrée, est représentée par le dessin suivant:



Les lames de carillon, pour jouir de toute leur sonorité, doi-

vent reposer à l'endroit des nœuds de vibrations sur des cordes ou sur des tuyaux de paille ou de caoutchouc qui n'interceptent pas les vibrations. Ces nœuds que l'on appelle *lignes nodales*, se révèlent d'une façon très-curieuse. Si l'on saupoudre la lame de sable fin et qu'on la mette en vibration à l'aide d'un petit marteau de bois ou de cuivre, on verra le sable sautiller vivement et finir par s'amasser en deux lignes droites placées à des distances symétriques vers les extrémités de la lame : ce sont les lignes nodales. A cet endroit, les vibrations de la lame sont presque nulles; c'est là aussi, pour être dans les conditions de sonorité les plus favorables, que la lame doit reposer sur l'objet destiné à la soutenir.

Les diapasons en acier, dont on se sert à l'orchestre pour donner le *la*, s'accordent en vertu de la loi qui gouverne les vibrations des lames. Il n'y a pas de musicien qui ne sache que pour hausser le diapason, il faut diminuer la longueur des branches; que pour l'abaisser, il faut diminuer leur épaisseur.

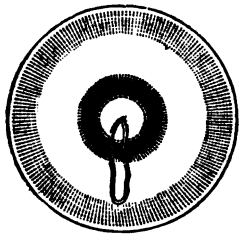
La sonorité du diapason en acier, quelque bien construit qu'il soit, n'est pas assez puissante pour être entendue de tout un orchestre. Cette sonorité est considérablement augmentée si le diapason est fixé sur la table d'une boîte de résonnance, dont la capacité intérieure est calculée de façon à vibrer à l'unisson du son à renforcer.

VIBRATION DES PLAQUES. Nous devons à Chladni, que l'on considère souvent, et avec raison, comme le père de l'acoustique — on lui doit le premier traité de cette science — l'heureuse idée de rendre visible le phénomène des lignes nodales dans les plaques en les saupoudrant de sable. Ces expériences sont excessivement curieuses, mais considérées au point de vue musical, elles n'ont aucune utilité. Les plaques en vibrant impriment au sable des mouvements divers d'où résultent des variétés de figures symétriques qui peuvent être étudiées dans tous les traités de physique et particulièrement dans l'excellent ouvrage de M. Tyndall : *Le Son.*

Les vibrations des plaques sont soumises aux lois suivantes :

Pour les plaques de même nature, de même forme, reproduisant les mêmes lignes nodales, les vibrations sont en raison directe de l'épaisseur des plaques et en raison inverse de leur surface.

Les *cymbales* sont des plateaux métalliques circulaires dont le milieu est renflé en demi sphéroïde et qu'on met en vibration en les frappant l'un contre l'autre. En voici la représentation :



La vitesse de vibration des plaques circulaires est directement proportionnelle à l'épaisseur et inversement proportionnelle au carré du diamètre. Conformément à cette loi, plus la cymbale est épaisse, plus le son est élevé ; plus la surface est grande, plus le son est grave.

Les lignes nodales des plaques circulaires rayonnent vers le centre, de sorte qu'il est possible de soutenir les cymbales en les traversant en cet endroit par une lanière de cuir, comme cela se pratique ordinairement, sans diminuer les qualités vibratoires. Il suffirait, au contraire, de toucher la cymbale partout ailleurs pour que les vibrations cessassent à l'instant.

L'analyse a prouvé que le bronze qui sert à la composition de ces instruments est simplement composé de 80 parties de cuivre et de 20 parties d'étain. C'est dans la manière de couler ces plateaux que réside le secret qui nous rend, pour l'achat de ces instruments, tributaires de la Turquie et de la Chine.

Le *Tamtam* n'est qu'une cymbale de grande dimension. On le

met en vibration au moyen d'un maillet recouvert de feutre ou de liège.

Les *cloches* sont aussi classées parmi les instruments de musique dont la construction repose sur la vibration des plaques. Lorsque la cloche vibre elle est divisée en quatre parties séparées par des lignes nodales qui partent du cercle frappé par le battant jusqu'au sommet de la cloche. Ces lignes nodales sont disposées symétriquement; là où le battant frappe se trouve toujours le milieu d'un ventre de vibration.

Les vibrations des cloches sont en raison inverse de leur diamètre ou de la racine cubique de leur poids.

On ne se rend pas compte bien souvent, en causant de ces instruments, de ce que peut peser une cloche donnant tel son, ni de la valeur qu'elle pourrait avoir.

Pour en donner une idée, nous dirons qu'une cloche donnant:

un	ut_2	pèse	$22937^k,6$
»	ut_3	»	2867,2
»	ut_4	»	358,4
»	ut_5	»	44,8

et, si l'on prend en moyenne une valeur de 4 francs le kilogramme, on peut se créer une idée approximative de la valeur énorme d'un carillon de cloches.

Quoique la bonne sonorité dépende en grande partie de l'exactitude des rapports entre les différentes parties de la cloche, il est possible de l'accorder en baissant le son, si l'on diminue soit l'épaisseur du cercle où frappe le battant, soit la partie supérieure de la cloche; en haussant le son si, au moyen du tour, on diminue la cloche d'une épaisseur uniforme sur toute la surface.

Les cloches de verre ont été employées à la construction des instruments de musique. On les accorde en y introduisant de l'eau. Celle-ci diminue l'élasticité de la matière et le son baisse progressivement au fur et à mesure que le verre s'emplit.

L'harmonica de Franklin, construit en 1763, avait une étendue de plus de 3 octaves, avec tous les intervalles chromatiques. Le son était produit par le frottement du doigt mouillé sur le bord du verre. Déjà, en 1684, le père Kircher rend compte, dans l'un de ses ouvrages, de ce mode de vibration du verre, qui a servi depuis à la construction d'une foule d'instruments plus ou moins perfectionnés.

VIBRATION DES MEMBRANES. Les membranes employées dans la construction des instruments de musique consistent ordinairement en peaux parcheminées tendues sur des cadres. Le son est obtenu par la percussion et les vibrations sont d'autant plus rapides que la tension de la peau est plus forte et qu'elle est de plus petite dimension.

Les membranes vibrent très-facilement sous l'influence d'un son étranger et il n'est même pas nécessaire qu'elles soient d'accord avec ce dernier ; généralement les membranes vibrent sous l'influence de tous les sons de grande intensité.

Le tambour de basque est un instrument trop simple et trop connu pour qu'il soit nécessaire d'en expliquer ici la théorie et en décrire la forme.

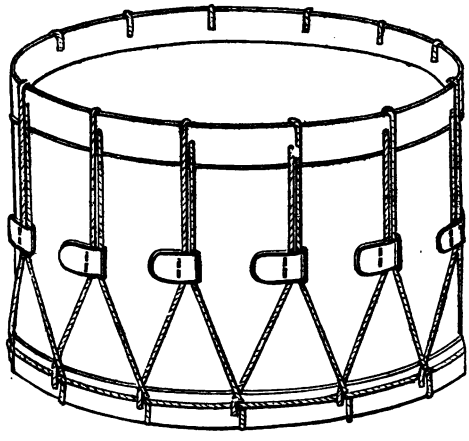
Le tambour est un instrument moins primitif et se compose de deux peaux tendues sur les deux extrémités d'un cylindre en

Tambour, caisse claire ou roulante.

cuivre ou en bois. Notons, en passant, que la matière de ce

cylindre n'exerce aucune influence sur le son. En frappant la première peau l'air enfermé dans le cylindre communique les vibrations de la première peau à la seconde et il en résulte une somme d'intensité sonore à laquelle vient s'ajouter celle de l'air renfermé entre les deux peaux.

La *caisse claire* et le *tambour de marche* ont, de plus, deux ou plusieurs cordes en boyau tendues contre la peau inférieure à l'aide d'une vis de rappel fixée contre le coté de la caisse. Lorsque cette peau entre en vibration sous l'influence de la

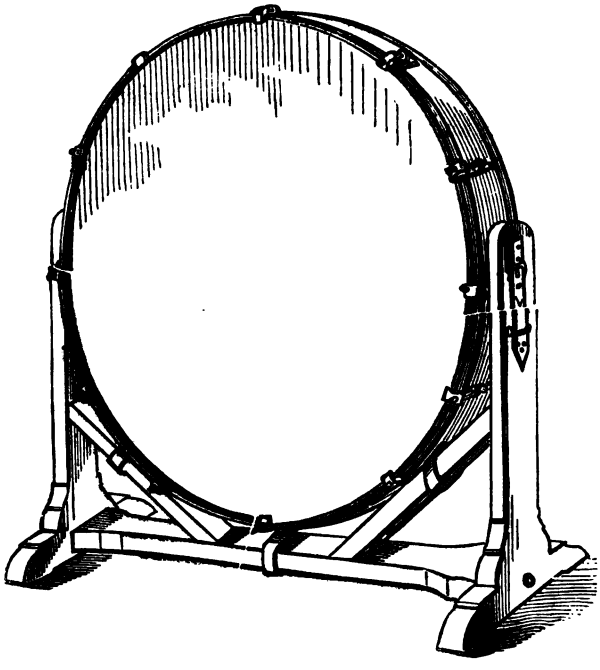


Grosse caisse ordinaire.

première, les cordes en boyau remplissent le rôle de percuteurs et il résulte de cet ensemble le timbre clair d'où ce genre de tambour a pris son nom « *caisse claire* », pour le distinguer de la *caisse roulante* dont le son mat et sourd est dû à l'absence des cordes en boyau. La percussion de la peau supérieure se fait au moyen de deux baguettes en bois.

Pour faciliter la vibration de la peau inférieure, il est nécessaire de la choisir plus mince que celle qui est soumise à la percussion.

La *grosse caisse* est un tambour de grande dimension; le principe de la construction est semblable à celui du tambour ordinaire. Une erreur généralement répandue fait croire qu'une grosse caisse possédant un cylindre très long est plus sonore que celle dont les peaux se trouvent plus rapprochées. Le seul moyen de renforcer la sonorité de cet instrument dans des conditions appréciables, consiste à augmenter la surface des parties vibrantes en choisissant naturellement des peaux



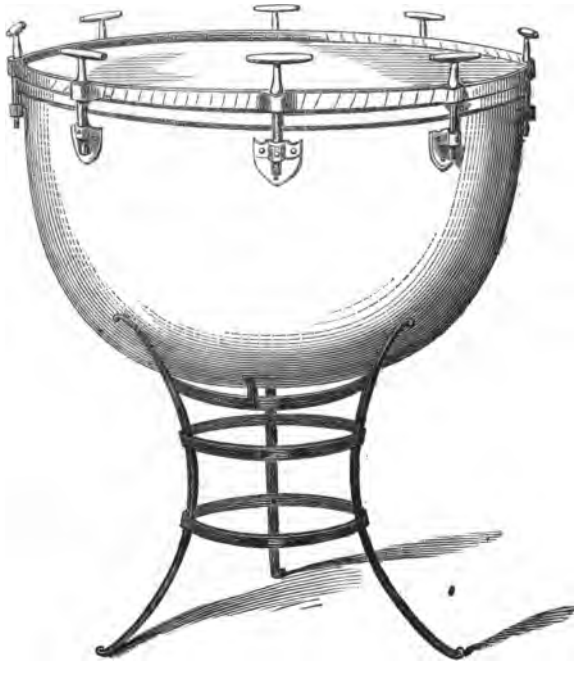
Grosse caisse d'orchestre à une peau.

de grand diamètre. Il est du reste peu avantageux pour un orchestre quelconque d'employer une grosse caisse de trop grande sonorité, à moins qu'on n'ait l'intention singulière d'écraser le concours des autres instruments.

On construit actuellement des *grosses caisses* qui n'en sont

plus du tout, ou du moins qui n'ont rien de commun avec leur désignation habituelle. Elles se composent d'une seule peau tendue, au moyen de vis, sur un cercle d'un mètre de diamètre. Non-seulement ces instruments ne prennent presque pas de place et sont conséquemment très avantageux pour les orchestres de théâtres où l'emplacement réservé aux musiciens est ordinairement très restreint, mais la sonorité de cet instrument est de qualité telle qu'il est préférable, sous tous les rapports, à l'ancienne grosse caisse. Ces instruments sont mis en vibration au moyen d'un maillet à tête ronde recouverte de feutre ou de liége.

Les instruments que nous venons de décrire n'ont, à proprement parler, aucun caractère musical; aussi leur rôle est-il limité le plus souvent à une indication de rhythme.

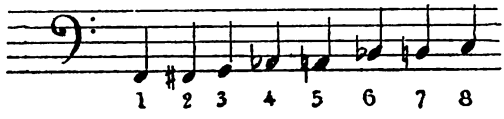


Timbale.

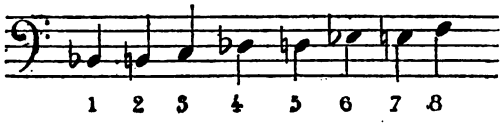
Les seuls instruments de cette catégorie ayant un son déterminé sont les timbales.

Les *timbales* consistent en des bassins hémisphériques, sur les bords desquels on tend la peau au moyen d'un système de vis. La peau est mise en vibration à l'aide de deux baguettes en baleine terminées par une rondelle de bois recouverte de feutre.

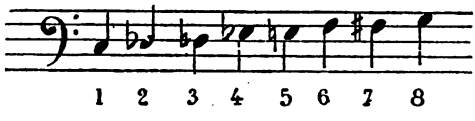
Les timbales s'emploient généralement au nombre de trois. La plus grande donne les sons :



la moyenne :



la plus petite :



En vertu de la loi de vibration des membranes, les différentes notes de chaque timbale s'obtiennent par une tension progressive de la peau.

Il faudrait, en conséquence de la seconde partie de cette même loi — les vibrations sont en raison inverse des surfaces des membranes — que les diamètres des timbales fussent réglés de telle façon que chacun des sons de même rang s'obtînt avec une tension de peau égale, d'où résulterait ainsi une qualité de

sonorité semblable. Cela n'existe pas aujourd'hui parce que le facteur est obligé, s'il veut faire accepter ses instruments, de suivre la voie tracée par ses devanciers. Examinons les rapports de diamètre nécessaires aux timbales construites sur des principes rationnels :

Entre la grande timbale et la seconde nous avons un intervalle de quarte juste. Deux sons donnent le rapport de cet intervalle lorsque l'un fait trois vibrations en même temps que l'autre en produit quatre.

Entre la grande timbale et la troisième nous avons un intervalle de quinte juste. Deux sons produisent cet intervalle lorsque le premier fait deux vibrations pendant que le second en exécute trois.

Les vibrations étant en raison inverse des grandeurs, nous aurons, pour obtenir la quarte supérieure avec une tension égale, à prendre pour surface de la seconde timbale les trois quarts de la première, et pour surface de la troisième timbale, les deux tiers de la première.

Ces rapports de surface sont faciles à établir. En effet, nous savons que deux circonférences sont entre elles comme les carrés de leurs diamètres. En prenant, comme habituellement, pour diamètre de la grande $0^m,75$, nous aurons donc :

$$\frac{3}{4} = \frac{x^2, \text{ carré du diamètre de la moyenne.}}{(0^m,75)^2 \text{ carré du diamètre de la grande.}}$$

d'où

$$x^2 = \frac{3}{4}(0^m,75)^2 = \frac{3}{4}\,0^{mm},5625 = 0^{mm},4218.$$

Ou en extrayant la racine des deux nombres :

$$x = \sqrt{0^{mm},4218} = 0^m,68.$$

pour le diamètre de la moyenne.

Le même procédé donnerait pour la plus petite $0^m,62$ de diamètre.

On sait que des trois timbales, l'une est toujours accordée à la dominante, une autre à la tonique du morceau. Supposons que nous soyons en *si*^{b} : nous nous servirons de la grande timbale et de la moyenne, et nous obtiendrons un *fa* (première timbale) et un *si*^{b} (deuxième timbale), avec une tension de peau égale. Si notre seconde timbale dépassait en diamètre le rapport indiqué par le raisonnement, il faudrait une tension beaucoup plus forte pour obtenir le *si*^{b} sur celle-ci que pour obtenir le *fa* sur la première; de là le son serait d'autant plus mou pour la première qu'il paraîtrait plus clair pour la seconde.

Laissons maintenant la tonalité de *si*^{b} pour prendre celle de *fa*. La première timbale nous donnera la tonique, la troisième nous procurera la dominante avec une tension semblable.

En *mi*^{b}, nous emploierons pour obtenir une tension égale, le sixième son de la grande timbale comme dominante, avec le sixième son de la timbale moyenne comme tonique.

Les bassins sur lesquels sont tendues les peaux, ne sont pas indispensables. On a construit des timbales dont les peaux étaient tendues sur des cercles en fer, sans addition de bassin. Le résultat obtenu n'amenait qu'une légère différence dans le timbre; elle provenait de la suppression partielle des vibrations de l'air provoquées dans le bassin par celles de la peau.

Les pavillons, qu'un usage oblige les facteurs à placer dans le fond des bassins pour *ajouter à la vibration*, peuvent disparaître sans amener aucun changement ni au timbre, ni à la sonorité. Il est matériellement impossible que ces pavillons traduisent en vibrations sonores la seule influence des vibrations de l'air qui les entoure.

CHAPITRE V.

RAPPORTS NUMÉRIQUES DES INTERVALLES.

L'art musical n'a rien à voir dans les chiffres, a-t-on dit bien souvent et avec raison. Non, évidemment, l'art musical n'a rien à y apprendre. Mozart, Beethoven et tant d'autres ne se sont probablement jamais occupés des rapports de la science avec la musique, et cette indifférence ne les a pas empêchés de produire des chefs-d'œuvre. Mais est-ce une raison pour qu'on les suive dans cette voie? Si les maîtres se sont montrés peu soucieux de cette connaissance, c'est que probablement leur époque n'exigeait pas les études qui sont indispensables aujourd'hui. Les phénomènes de la nature ont existé de tous temps, ce qui n'empêche pas que la découverte des lois physiques qui les gouvernent est récente et constitue une des plus précieuses conquêtes du génie humain!

Lc connaissance des rapports numériques des intervalles est de nécessité absolue pour le musicien, non qu'il doive s'en servir dans la pratique de son art, mais afin qu'il se rende compte des éléments qui le constituent. A cet effet, il doit s'initier aux travaux des savants qui ont écrit sur cette matière

en comparant le résultat de leurs recherches aux lois de la science harmonique.

Aujourd'hui, peu de musiciens lisent ces ouvrages avec fruit, parce qu'ils n'en comprennent pas la portée et qu'ils n'admettent pas l'influence bienfaisante que cette étude exercerait sur leur carrière artistique.

La première page les effraie et le livre est fermé sans que celui auquel il est destiné se soit donné la moindre peine pour en comprendre le sens !

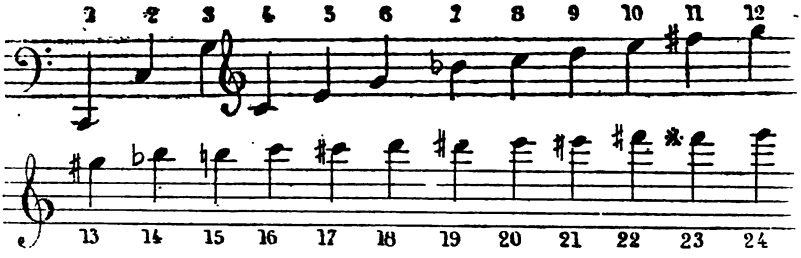
Tâchons donc de compléter la mission que nous avons entreprise en exposant brièvement, mais explicitement, le rôle des chiffres dans la désignation du rapport des intervalles. Si le musicien veut bien nous suivre sans parti pris, et surtout sans effroi, nous pensons que les quelques lignes qui vont suivre lui permettront désormais, sinon de prendre part aux nombreuses discussions qui surgissent aujourd'hui à propos de l'art qu'il est le plus intéressé à connaître, du moins de les comprendre en mettant à profit ce qu'il y trouve de bon.

On appelle *intervalle* la distance qui existe entre deux sons. Le plus grand intervalle en musique est l'octave; c'est celui qui est représenté par deux sons dont l'un fait une vibration pendant le même temps que le second en fait deux.

Le rapport vibratoire d'un intervalle se chiffre sous forme de de nombre fractionnaire, en mettant comme numérateur le plus grand nombre de vibrations et, conséquemment, au dénominateur, le plus petit nombre. Ainsi, l'intervalle d'octave se chiffre $\frac{2}{1}$, que l'on énonce 1 est à 2 et qui peut encore s'écrire de la façon suivante 1 : 2.

Il est évident que le connaissance du rapport entre tous les intervalles nous permettrait de les établir pour tous les degrés d'une gamme dont le premier terme nous serait connu. C'est ce que nous allons essayer de faire en donnant plus de développement à notre démonstration ; pour cela, il est nécessaire que nous rappelions ici l'ordre de succession des harmoniques

produits par la division d'une corde ou d'un tuyau. Nous avons vu que ces harmoniques sont :



et qu'ils sont produits par la division des corps vibrants, en fractions de plus en plus petites. Cette série des harmoniques n'a d'autres limites que celle de la corde elle-même, parce qu'il arrive un moment où les divisions de la corde se confondent.

Rappelons-nous que le nombre de vibrations étant en raison inverse des longueurs, nous avons pour

le son 1,	dit *fondamental*,	toute la	longueur	de la	corde.			
» 2,	faisant 2 fois	plus de	vibrations,	la	$\frac{1}{2}$	longueur	de	la corde.
» 3,	» 3	»	»		$\frac{1}{3}$	»	»	
» 4,	» 4	»	»		$\frac{1}{4}$	»	»	
» 5,	» 5	»	»		$\frac{1}{5}$	»	»	

et ainsi de suite.

L'ordre de succession des harmoniques 1, 2, 3, 4 etc., est donc une progression arithmétique et donne, en même temps, le rapport de vibration de chacun des sons comparé au son fondamental désigné par 1.

Examinons la gamme majeure en partant d'*ut* = 1 vibration.

Le *second degré* de cette gamme est *ré*, à la seconde majeure du premier.

La succession des harmoniques 8 et 9, nous offre le rapport vibratoire de cet intervalle, elle nous indique qu'il est

produit par deux sons dont l'un fait 8 vibrations pendant que le second en fait 9. Donc si *ut* fait 8 vibrations, *ré* en fera 9; Mais si *ut* ne fait, conformément à notre hypothèse, qu'une vibration, *ré*, pour se trouver dans un rapport équivalent avec cet *ut*, en fera 8 fois moins: donc 9 divisé par 8, ce qui s'écrit $\frac{9}{8}$.

Le *troisième degré* de la gamme majeure est fourni par l'intervalle de tierce majeure avec le premier. La série des harmoniques nous offre cet intervalle par les quatrième et cinquième sons.

De là, si *ut* fait 4 vibrations, *mi* tierce majeure en fera 5 dans le même temps, et si *ut* ne fait que 1 vibration, *mi* n'en fera que $\frac{5}{4}$.

Le *quatrième degré* de la gamme nous est fourni par l'intervalle de quarte juste représenté dans la série des harmoniques par les sons 3 et 4; *ut* faisant 3 vibrations, *fa* en fera 4, mais *ut* n'en faisant qu'une, *fa* n'en fera que $\frac{4}{3}$.

Le *cinquième degré* de la gamme est fourni par l'intervalle de quinte, *do* 2 — *sol* 3, de la série des harmoniques. *Ut* ne faisant que 1 vibration *sol* ne fera que $\frac{3}{2}$.

Le *sixième degré* constitue un intervalle de sixte majeure avec la tonique. Les sons 3 et 5 nous donnent le rapport de leurs vibrations; *mi* faisant 3 vibrations, *la* en fera 5, mais *ut* n'en faisant qu'une, *la* n'en fera que $\frac{5}{3}$.

Le *septième degré* constitue un intervalle de septième majeure avec la tonique. La série des harmoniques représente cet intervalle par les sons 8 et 15 qui nous donnent en même temps le rapport des vibrations. *Ut* faisant 8 vibrations, *si* en fait 15, mais *ut* n'en faisant que 1, *si* en fera 8 fois moins, donc $\frac{15}{8}$.

Si nous rassemblons les différents rapports que nous avons déterminés en partant de *ut* = 1 vibration, nous avons pour les différents degrés de la gamme majeure :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Les rapports vibratoires des sons de la gamme sont ordinairement exposés d'une façon différente de celle que nous venons d'indiquer. Nous avons choisi cette dernière manière de préférence à toute autre parce qu'elle est simple et compréhensible pour les musiciens peu familiarisés avec l'emploi des chiffres. Voici comment on procède habituellement : on sait que l'accord parfait majeur du premier degré se compose du premier degré ou tonique; du troisième degré majeur, tierce ou mediante et du cinquième degré, quinte ou dominante.

Examinons la série des harmoniques, nous trouvons pour *ut* 1 vibration; pour *mi* 5 et pour *sol* 3 vibrations. Mais le plus grand intervalle en musique est l'octave représentée par le rapport de 1 : 2. Il s'agit donc de ramener les rapports vibratoires de la tierce et de la quinte entre ceux qui déterminent l'octave.

Le son 5 appartient, comme nous pouvons le voir en consultant la série des harmoniques, à l'octave moyenne, c'est-à-dire à celle qui se trouve deux octaves au dessus de l'octave fondamentale à laquelle appartient le son 1. Pour ramener le rapport de l'octave moyenne à celui qu'il doit avoir dans l'octave fondamentale, il faut le diviser par 2 pour une octave, par 4 pour 2 octaves, par 8 pour 3 octaves, par 16 pour 4 octaves, et ainsi de suite. Or, comme nous venons de le dire il y a 2 octaves entre le son 1 et le son 5 et nous avons donc en partant d'*ut* = 1, *mi* = $\frac{5}{4}$.

Le son 3 appartient à l'octave grave de la série; il n'y a qu'une octave de différence avec l'octave fondamentale, nous n'avons donc qu'à diviser par 2 pour avoir le rapport de la quinte vis-à-vis de la tonique 1, et conséquemment $\frac{3}{2}$.

L'accord parfait majeur de la tonique se chiffre donc :

1	$\frac{5}{4}$	$\frac{3}{2}$	2
ut	*mi*	*sol*	*ut.*

Établissons maintenant pour règle que pour connaître le

rapport d'un intervalle à un autre, il faut multiplier l'un par l'autre, les numérateurs et les dénominateurs des deux formes fractionnaires. Ainsi, prenons les rapports des sons constituant l'accord parfait en partant de *sol* comme tonique. Nous avons pour établir le rapport de la tierce majeure de *sol* à multiplier $\frac{3}{2}$ par le rapport de la tierce $\frac{5}{4}$, ce qui donne :

$$\frac{3}{2} \times \frac{5}{4} = \frac{15}{8} \text{ rapport de } si.$$

Pour établir le rapport de la quinte de *sol*, nous avons à multiplier $\frac{3}{2}$ par le rapport de la quinte $\frac{3}{2}$, ce qui donne :

$$\frac{3}{2} \times \frac{3}{2} = \frac{9}{4} \text{ rapport de } ré.$$

Nous avons donc pour l'accord parfait, en partant du *sol* :

$$\underset{sol}{\frac{3}{2}} \quad \underset{si}{\frac{15}{8}} \quad \underset{ré}{\frac{9}{4}}$$

mais le rapport de *ré* dépasse l'octave d'*ut* = 1, car $\frac{9}{4}$ est plus grand que 2 ; il faut donc, pour ramener ce rapport à la gamme précédente, le diviser par 2, ce qui s'obtient en doublant le dénominateur de la forme fractionnaire. Nous avons donc pour *ré* $\frac{9}{8}$.

Il nous manque les valeurs relatives de *fa* et de *la* pour compléter les valeurs de chacun des sons de la gamme.

Ces deux notes forment avec l'octave de la tonique, un accord parfait : *fa, la, do.*

La valeur de *ut* étant connue, nous avons à *diviser* 2 par le rapport de quinte pour avoir la valeur de *fa* rapporté à *ut* = 2.

On sait que diviser un nombre entier par une fraction consiste à multiplier ce nombre entier par la fraction diviseur renversée.

Nous avons donc pour *fa*, 2 divisé par $\frac{3}{2}$ estégal à $2 \times \frac{2}{3} = \frac{4}{3}$.

Connaissant la valeur de *fa*, nous multiplions cette valeur par le rapport de la tierce pour avoir le rapport de *la* :

$$\frac{4}{3} \times \frac{5}{4} = \frac{20}{12}$$

La valeur d'une fraction ne change pas si le numérateur et le dénominateur sont divisibles par le même nombre ; pour simplifier, divisons donc 20, numérateur, et 12, dénominateur, respectivement par 4, et nous aurons $\frac{5}{3}$.

Rétablissant la valeur de chacun des sons obtenus pour la détermination de la gamme majeure, nous avons :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Le résultat est le même que celui obtenu à l'aide de la série des harmoniques.

Remarquons, que nous n'avons cherché à ramener ces rapports à l'*ut* = 1 que pour avoir l'expression la plus simple possible. L'on peut partir d'un *ut* quelconque en multipliant les rapports de tous les sons de la gamme par le même nombre, ce qui n'altère pas les valeurs relatives. Si nous voulons connaître les valeurs de chacun des sons de la gamme en fractions décimales, nous n'avons qu'à diviser le numérateur par le dénominateur, en conservant autant de décimales qu'on le désire. Ainsi ;

ut	= 1	nous donne	1,0000	vibrations
ré	= $\frac{9}{8}$	»	1,1250	
mi	= $\frac{5}{4}$	»	1,2500	
fa	= $\frac{4}{3}$	»	1,3333	

sol	$= \frac{3}{2}$	nous donne	1,5000 vibrations
la	$= \frac{5}{3}$	»	1,6666
si	$= \frac{15}{8}$	»	1,8750
do	$= 2$	»	2,0000

Si, au contraire, nous voulons obtenir des rapports en nombres entiers, nous avons à réduire nos fractions ordinaires au même dénominateur.

Nous savons que, pour ramener des fractions au même dénominateur il faut rechercher le plus petit multiple des dénominateurs des fractions proposées. Ce plus petit multiple sera le dénominateur commun ; on le divise par le dénominateur de chaque fraction particulière et l'on multiplie chacun des termes de la fraction par le quotient.

Examinons notre gamme :

$$1 \quad \frac{9}{8} \quad \frac{5}{4} \quad \frac{4}{3} \quad \frac{3}{2} \quad \frac{5}{3} \quad \frac{15}{8} \quad 2$$

Le plus petit multiple des dénominateurs, 8, 4, 3, 2, 3, 8, est 24.

Donnons à l'unité la forme fractionnaire : $\frac{24}{24}$ *ut*

8	dénominat. de	$\frac{9}{8}$	entre en	24, trois	fois, nous avons donc	$\frac{9}{8} \times \frac{3}{3} = \frac{27}{24}$	*ré*
4	»	$\frac{5}{4}$	»	24, six	fois, »	$\frac{5}{4} \times \frac{6}{6} = \frac{30}{24}$	*mi*
3	»	$\frac{4}{3}$	»	24, huit	fois, »	$\frac{4}{3} \times \frac{8}{8} = \frac{32}{24}$	*fa*
2	»	$\frac{3}{2}$	»	24, douze	fois, »	$\frac{3}{2} \times \frac{12}{12} = \frac{36}{24}$	*sol*
3	»	$\frac{5}{3}$	»	24, huit	fois, »	$\frac{5}{3} \times \frac{8}{8} = \frac{40}{24}$	*la*
8	»	$\frac{15}{8}$	»	24, trois	fois, »	$\frac{15}{8} \times \frac{3}{3} = \frac{45}{24}$	*si*

l'octave 2 se représente naturellement par : $\frac{48}{24}$ *ut*

Supprimons tous les dénominateurs, ce qui peut se faire sans altérer les rapports, nous aurons en nombres entiers les nombres :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
24	27	30	32	36	40	45	48

Il serait impossible de donner à ces rapports une expression plus simple, ces nombres n'ayant pas de commun diviseur.

Pour produire cette gamme au moyen des divisions d'une corde ou d'un tuyau, il faudrait que ces derniers fussent assez longs pour donner les harmoniques :

24, 27, 30, 32, 36, 40, 45, 48.

ce qui est pratiquement impossible.

Si nous comparons, par la division, le rapport des intervalles entre eux, nous trouvons :

entre *ut* et *ré*	$\frac{9}{8}$	divisé par 1	$= \frac{9}{8}$	
» *mi* et *ré*,	$\frac{5}{4}$	»	$\frac{9}{8} = \frac{5}{4} \times \frac{8}{9} = \frac{40}{36}$	ou $\frac{10}{9}$
» *fa* et *mi*,	$\frac{4}{3}$	»	$\frac{5}{4} = \frac{4}{3} \times \frac{4}{5} = \frac{16}{15}$	
» *sol* et *fa*,	$\frac{3}{2}$	»	$\frac{4}{3} = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$	
» *la* et *sol*,	$\frac{5}{3}$	»	$\frac{3}{2} = \frac{5}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{10}{9}$	
» *si* et *la*,	$\frac{15}{8}$	»	$\frac{5}{3} = \frac{15}{2} \times \frac{3}{5} = \frac{45}{40}$	ou $\frac{9}{8}$
» *ut* et *si*,	2	»	$\frac{15}{8} = 2 \times \frac{8}{15} = \frac{16}{15}$	

Nous nous trouvons donc en présence de trois espèces d'intervalles : le ton majeur $\frac{8}{9}$, dont nous pouvons nous rendre compte par la succession des harmoniques 8, 9; le ton mineur $\frac{10}{9}$, fourni par la succession des harmoniques 9 et 10 ;

et le 1/2 ton majeur $\frac{16}{15}$, fourni par la succession des harmoniques 15 et 16.

L'oreille peut confondre le ton majeur avec le ton mineur, mais elle apprécie la différence entre le demi-ton majeur et le demi-ton mineur.

De même que la tierce majeure est formée de la superposition d'une seconde mineure à une seconde majeure

$$\frac{9}{8} \times \frac{10}{9} = \frac{90}{72} \text{ ou } \frac{5}{4}$$

de même le ton est formé de la superposition du demi-ton majeure au demi-ton mineur.

Divisant le ton $\frac{10}{9}$ par le demi-ton majeur $\frac{16}{15}$, nous avons pour valeur du demi-ton mineur

$$\frac{10}{9} : \frac{16}{15} = \frac{10}{9} \times \frac{15}{16} = \frac{150}{144} \text{ ou } \frac{25}{24}$$

dont nous pouvons nous rendre compte par la succession des harmoniques 24 et 25.

Si nous comparons le ton majeur au ton mineur, ce que nous faisons par la division, nous obtenons

$$\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{9}{8} \times \frac{9}{10} = \frac{81}{80}$$

Cette valeur que l'oreille peut négliger s'appelle *comma*.

Comparons par le même moyen, le demi-ton majeur avec le demi-ton mineur, nous obtenons :

$$\frac{16}{15} : \frac{25}{24} = \frac{16}{15} \times \frac{24}{25} = \frac{384}{375} = \frac{128}{125}$$

cette valeur, plus grande que le comma, est parfaitement sensible à l'oreille.

Voyons maintenant comment s'introduisent dans la gamme les *dièses* et les *bémols*.

Nous savons que la gamme majeure se compose de deux tétracordes disjoints et semblables. On appelle *tétracorde* les quatre sons qui séparent l'intervalle de quarte avec la tonique, et de l'octave de celle-ci avec la dominante.

do, ré, mi, fa. *sol, la, si, do.*
1er tétracorde. 2e tétracorde.

On appelle ces tétracordes *disjoints*, parce qu'il y a un ton de séparation entre la fin du premier et le commencement du second ; ils sont semblables, parce que, à part la différence de l'emplacement du ton mineur et du ton majeur, les tétracordes sont semblables quant à la position des tons et des demi-tons.

La tonalité la plus simple après celle d'*ut* majeur, est celle dont le premier tétracorde est composé exactement comme le second de la gamme d'*ut* majeur :

sol, la, si, do.
1er tétracorde.

Pour avoir un deuxième tétracorde semblable au premier, il faut naturellement diéser le *fa*, on obtiendra ainsi un demi-ton entre le troisième son et le quatrième.

ré, mi, fa dièse, sol,
2e tétracorde.

Sachant que la distance entre le *fa dièse* et le *sol* doit être la même que celle qui se trouve entre le *si* et l'*ut* de la gamme d'*ut*, distance que nous avons évaluée à $\frac{16}{15}$, demi-ton majeur, il suffira, pour obtenir la valeur de *fa dièse*, de multiplier celle de *fa* par $\frac{25}{24}$ valeur du demi-ton mineur.

Il est essentiel de tenir compte qu'au comma près, le ton résulte de la superposition du demi-ton majeur et du demi-ton mineur.

La gamme de *ré* est la plus simple après celle de *sol*, parce son premier tétracorde est composé du second tétracorde de la gamme de *sol :*

ré, mi, fa dièse, sol.

nous complétons cette gamme par l'addition d'un second tétracorde où nous donnons à *do dièse* la valeur de *do* multipliée par $\frac{25}{24}$:

la, si, do dièse, ré.

et ainsi de suite pour la formation de toutes les autres gammes.

L'introduction des *bémols* se fait d'une manière analogue.

La gamme de *fa*, la plus simple après celle d'*ut* majeur, a pour deuxième tétracorde, le premier tétracorde de la gamme d'*ut* majeur :

fa, sol, la, si bémol,	*do, ré, mi, fa.*
1er tétracorde.	2e tétracorde.

Il est évident que pour avoir un demi-ton entre le troisième et le quatrième sons du premier tétracorde, pareil à celui qui se trouve entre les cinquième et quatrième son du deuxième tétracorde, il faudra obtenir la valeur de *si bémol*, ce qui se fait en multipliant la valeur de *si* par $\frac{24}{25}$.

La gamme la plus simple après celle de *fa*, est celle de *si bémol*, puisqu'elle a pour deuxième tétracorde le premier tétracorde de la gamme de *fa :*

Si bémol, do, ré, mi bémol.	*fa, sol, la, si bémol.*
1er tétracorde.	2e tétracorde.

Pour obtenir la valeur de *mi bémol*, il faudra naturellement

multiplier la valeur de *mi*, par $\frac{24}{25}$ et ainsi de suite pour toutes les gammes bémolisées.

La gamme que nous venons d'examiner est la gamme dite *des géomètres* ou *des physiciens;* elle est loin d'être acceptée par les musiciens, et avec raison, car l'exactitude des rapports qui la constitue, si elle était exactement observée, nous amènerait inévitablement à jouer beaucoup plus faux encore qu'on ne le fait aujourd'hui. Voici quelques-unes des raisons qui nous obligent de nous écarter de la gamme des physiciens.

Tous les musiciens savent qu'entre deux sons à l'intervalle d'un ton, comme *ut* et *ré* par exemple, on établira une différence assez sensible entre *ut dièse*, que l'on rapprochera instinctivement du *ré*, et de *ré bémol*, qui semble attiré vers *ut*.

Il est naturel que nous ne parlons pas ici des instruments à sons fixes. Cette distinction pratique provient de ce que l'oreille conçoit mieux les tendances résolutives de *ut dièse* sur *ré*, et de *ré bémol* sur *ut*, en exagérant la petitesse de l'intervalle qui les sépare. Ce fait, admis par tous les musiciens, est rejeté par les physiciens et les géomètres; ceux-ci exigent *ré bémol* plus élevé que *ut dièse*.

En effet, nous avons, d'après la théorie qui précède, et en supposant $ut = 1$, $ré = \frac{9}{8}$:

$$\text{pour } ré\ bémol : \frac{9}{8} \times \frac{24}{25} = \frac{216}{200} = \frac{27}{25}$$

$$\text{pour } ut\ dièse : 1 \times \frac{25}{24}$$

En réduisant en fractions décimales, nous avons :

pour *ut*	1.00000	vibrations,
ut dièse	1.04166	»
ré bémol	1.08000	»
ré	1.12500	»

ce qu'un musicien ne peut admettre.

Dans la gamme des physiciens dont nous avons établi les rapports par la formule :

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

nous avons pour intervalle de la quinte *ut-sol*, 1 : $\frac{3}{2}$, dont le rapport est exact.

Nous en avons une autre, *mi-si*, dont le rapport est également exact, car en multipliant la valeur de la tierce *mi* par celle de la quinte, nous trouvons la valeur exacte de *si :*

$$\frac{5}{4} \times \frac{3}{2} = \frac{15}{8}$$

Nous avons aussi *fa-ut*, dont le rapport est juste, car

$$\frac{4}{3} \times \frac{3}{2} = \frac{12}{6} \text{ ou } 2$$

Mais nous avons *ré-la*, qui manque de justesse, car

$$\frac{9}{8} \times \frac{3}{2} = \frac{27}{16}$$

pour la valeur de *la*, tandis que nous devons avoir pour *la*, la valeur $\frac{5}{3}$. Si nous établissons le rapport entre ces deux valeurs, nous trouvons que *la*, considéré comme sixte majeure de *do*, est plus bas d'un comma que s'il est presenté comme quinte de *ré*. On le prouve en multipliant le rapport de la sixte majeure d'*ut* par la valeur du comma, ainsi :

$$\frac{5}{3} \times \frac{81}{80} = \frac{405}{240} = \frac{27}{16}$$

Si nous avions à produire, à l'aide d'un instrument, trois

tierces majeures de suite en partant d'*ut* = 1 vibration, nous aurions :

$$1 \times \frac{5}{4} \times \frac{5}{4} \times \frac{5}{4} = 1.953 :$$

or, pratiquement, nous comptons trois tierces majeures dans l'intervalle d'octave :

do-mi, mi-sol dièse, sol dièse-si dièse.

Si *dièse* et *ut* doivent se confondre. Nous avons pris pour le premier *ut* 1 vibration, le deuxième devrait donc en avoir 2, et en faisant trois tierces de suite dans le rapport exact de $\frac{5}{4}$, nous n'arrivons qu'à 1,953 vibrations.

Entre *ut* = 1 et *ut* = 2, nous pouvons intercaler quatre tierces mineures en confondant, bien entendu, *ut* avec *ré double bémol*, ce qui est absolument nécessaire si nous voulons conserver la justesse des octaves, lesquelles ne souffrent aucune altération dans leur rapport. Nous aurons donc :

ut-mi bémol, mi bémol-sol bémol, sol^{bb}-si^{bb}, si^{bb}-ré^{bb}

$$1 \times \frac{6}{5} \times \frac{6}{5} \times \frac{6}{5} \times \frac{6}{5} = 2.073$$

c'est-à-dire que le résultat dépasse celui exigé pour la justesse nécessaire à l'octave 1 : 2.

Une succession de douze quintes devrait correspondre exactement à celle de sept octaves, car

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
do,	*sol,*	*ré,*	*la,*	*mi,*	*si,*	*fa d^{se},*	*do d^{se},*	*sol d^{se},*	*ré d^{se},*	*la d^{se},*	*mi d^{se},*	*si d^{se},*
|	|	|	|	|		|		|		|
do	*do*	*do*	*do*	*do*		*do*			*do*		*do*
	1	2	3	4			5			6		7

arrivent aux sons enharmoniques de *si dièse, do.* Cependant,

si nous multiplions douze fois de suite *ut* = 1 par le rapport de quinte $\frac{3}{2}$, nous obtenons pour la douzième quinte, *si dièse*, 129,746 vibrations; tandis qu'en multipliant *ut* =1, sept fois de suite par le rapport de l'octave, nous obtenons pour la septième octave, *ut*, 128 vibrations.

Pour corriger toutes ces différences il faut donc trouver un moyen terme, et l'expérience prouve que la gamme tempérée est celle qui les compense le plus avantageusement, tout en se rapprochant le plus de la justesse absolue et en tenant compte des différents instruments qui composent l'orchestre moderne et du caractère omnitonique de notre musique.

Avant de passer à l'examen de la gamme tempérée, nous allons offrir ici le tableau de tous les intervalles qui composent la gamme des physiciens; les longueurs de cordes données en regard de chaque son et que nous avons obtenues au moyen de la loi que nous avons étudiée, permettra, à l'aide du sonomètre, de se rendre compte de l'intonation de chacun de ces intervalles.

DÉSIGNATION DES NOTES.	RAPPORT DE VIBRATIONS.	LONGUEUR DES CORDES.
ut	1.00000	1.00000
ut dièse.	1.04166	0.96000
ré bémol	1.08000	0.92222
ré	1.12500	0.88888
ré dièse.	1.17187	0.85332
mi bémol	1.20000	0.83333
mi	1.25000	0.80000
mi dièse	1.30208	0.76800
fa bémol	1.28000	0.78125
fa	1.33333	0.75000
fa dièse.	1.38883	0.72000

DÉSIGNATION DES NOTES.	NOMBRE DE VIBRATIONS.	LONGUEURS DES CORDES.
sol bémol	1.44000	0.69444
sol	1.50000	0.66666
sol dièse	1.56250	0.64000
la bémol	1.60000	0.62500
la	1.66666	0.60000
la dièse.	1.73611	0.57600
si bémol	1.80000	0.55555
si	1.87500	0.53333
si dièse.	1.95312	0.51199
ut bémol	1.92000	0.52083
ut	2.00000	0.50000

L'impossibilité de donner aux intervalles le rapport exact qui les constitue, nous oblige donc de recourir au tempérament égal. On appelle *gamme accordée au tempérament égal,* celle dont les intervalles de même espèce sont toujours représentés par le même rapport. Pour parvenir à réaliser l'exactitude de ces rapports, il suffit de diviser l'octave en douze demi-tons égaux, c'est-à-dire que si nous prenons pour *ut* premier terme 1 vibration, et *ut* treizième terme 2 vibrations, il s'agit de trouver la raison de la progression par laquelle il faut multiplier 12 fois de suite le premier terme pour arriver au treizième.

Les mathématiques nous enseignent que pour trouver la raison d'une progression semblable, il faut prendre la douzième racine de 2, ce qui nous donne $\sqrt[12]{2} = 0.10594631$.

Pour obtenir la valeur des douze demi-tons de la gamme tempérée, nous multiplierons douze fois de suite le premier

terme 1,00000. De cette manière nous obtenons le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES NOTES.	NOMBRE RELATIF DE VIBRATIONS.	LONGUEUR DES CORDES.
ut	1.00000	1.00000
ut dièse ou *ré bémol*	1.05946	0.94387
ré	1.12246	0.89090
ré dièse ou *mi bémol*	1.18921	0.84090
mi	1.25992	0.79370
fa	1.33484	0.74915
fa dièse ou *sol bémol*.	1.41421	0.70710
sol	1.49833	0.66742
sol dièse ou *la bémol*.	1.58740	0.62993
la	1.68179	0.59461
la dièse ou *si bémol*	1.78180	0.56123
si	1.88775	0.52973
ut	2.00000	0.50000

En donnant à *ut* une valeur quelconque, on calcule facilement tous les degrés de la gamme qui lui appartiennent en multipliant le premier terme par la raison qui nous a servi à calculer le tableau précédent.

L'inspection des rapports de la gamme tempérée nous démontre que le dièse et le bémol se confondent enharmoniquement; — que le rapport de la tierce majeure est légèrement augmenté; — que le rapport de la tierce mineure est diminué, de même que celui de la quinte.

Tous les instruments à sons fixes doivent s'accorder suivant le principe du tempérament égal, car il serait d'une difficulté insurmontable de construire des instruments qui permissent de donner à chaque intervalle l'exactitude des rapports exigés

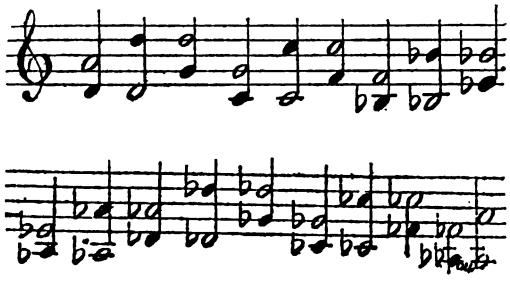
pour chacune des tonalités où ils sont employés. On appelle *instruments à sons fixes*, l'orgue, le piano, l'harmonium, la harpe, etc., parce que ces instruments ont les sons fixes pour chacune des notes qui composent leur étendue.

Les trous latéraux, les tons de rechange des instruments à vent et les tubes additionnels appliqués aux instruments à pistons, doivent se calculer d'après la gamme du tempérament égal, afin d'obtenir des rapports semblables pour les tonalités diverses dans lesquelles on les emploie.

L'accord de l'orgue, du piano, de l'harmonium est basé sur la succession de douze quintes qui correspondent à la succession de sept octaves; seulement, au lieu de prendre le rapport exact de quinte juste 1.500000, on prend le rapport de quinte tempérée 1.49831, c'est-à-dire que l'on tient toutes les quintes un peu basses, afin d'arriver exactement à ce que la douzième se confonde avec l'étendue de sept octaves.

L'accord sur une étendue aussi grande serait incommode, c'est pourquoi, au moyen d'une formule que l'on appelle *partition de l'accordeur*, on ramène constamment les quintes au moyen de l'octave, dont le rapport doit toujours être conservé exactement, dans une étendue qui ne dépasse pas une octave et demie.

Voici une partition semblable : la note noire s'accorde sur la blanche. Généralement, on se sert du *la* comme point de départ; ce *la* se règle sur le diapason qui doit servir du type à l'accord général :



Pour que l'opération soit juste, il faut qu'elle se termine en donnant les deux derniers sons, *la* et *si double bémol*, exactement à l'octave.

On se rend facilement compte de l'énorme difficulté qu'il y a à accorder un instrument dans des conditions semblables Cependant cet obstacle est moins grand pour l'orgue parce que les sons soutenus de cet instrument permettent de compter exactement les battements que chacune des quintes doit donner pour être tempérée avec toute la précision requise. Notons, en passant, que beaucoup d'accordeurs donnent à chaque quinte tempérée un nombre égal de battements. Rien de plus mauvais que cet accord, car le nombre de vibrations variant pour chaque quinte, il est évident que les battements changent dans un rapport semblable.

Le piano ne peut pas être accordé à l'aide de la méthode des battements parce que ces derniers ne s'entendent que difficilement à cause du peu de durée des sons de cet instrument; aussi rien n'est plus commun qu'un piano mal accordé; et que de fois ne met-on pas sur le compte de l'accord par le tempérament égal, des défauts de justesse qui n'existent précisément que parce que cet accord n'a pas été pratiqué assez exactement.

L'accord des notes qui composent la partition étant obtenu, on accorde tous les autres sons à l'octave.

Maintenant que le diapason normal est généralement admis pour l'accord des pianos, il y aurait avantage pour l'accordeur de se servir de toute la série de diapasons donnant une gamme chromatique tempérée, mathématiquement juste. Un appareil semblable n'est guère coûteux, il écarterait tout doute, épargnerait des ennuis, parce que l'accord juste du piano n'exigerait plus, pour être parfait, qu'une oreille apte à reconnaître l'exactitude de l'unisson et de l'octave.

Les rapports de la gamme ne sont pas toujours également interprétés, et leur détermination a donné lieu à bien des discussions. Nous avons donné la raison pour laquelle les musiciens n'admettaient pas la gamme des géomètres.

Bien avant que les rapports de cette dernière gamme fussent calculés, Pythagore, philosophe grec, qui vivait en l'an 590 avant l'ère chrétienne, avait formulé une gamme dont les rapports se rapprochent sensiblement de la gamme tempérée, et dont les notes accidentées se trouvent dans l'ordre établi par la pratique, c'est-à-dire que le dièse y est plus élevé que le bémol. Cette gamme, appelée *phythagoricienne*, est basée sur la succession des quintes.

Voici comment on calcule les rapports de cette gamme. Si nous partons, comme dans les calculs précédents, de *ut* = 1, nous trouvons :

octave primitive	*ut*	=	1					
	sol	=	1	×	$\frac{3}{2}$			
1er octave. . .	*ré*	=	$\frac{3}{2}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{9}{4}$	
	la	=	$\frac{9}{4}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{27}{8}$	
2me octave. . .	*mi*	=	$\frac{27}{8}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{81}{16}$	
	si	=	$\frac{81}{16}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{243}{32}$	
3me octave. . .	*fa dièse*	=	$\frac{243}{32}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{729}{64}$	
4me octave. . .	*ut dièse*	=	$\frac{729}{64}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{2187}{128}$	
	sol dièse	=	$\frac{2187}{128}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{6561}{256}$	
5me octave. . .	*ré dièse*	=	$\frac{6561}{256}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{19683}{512}$	
	la dièse	=	$\frac{19683}{512}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{59049}{1024}$	
6me octave. . .	*mi dièse*	=	$\frac{59049}{1024}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{177147}{2048}$	
7me octave. . .	*si dièse*	=	$\frac{177148}{2048}$	×	$\frac{3}{2}$	=	$\frac{531441}{4096}$	

Pour obtenir le *fa* et les notes bémolisées qui nous manquent, nous partirons également d'*ut* = 1 ; mais en allant de quinte en quinte descendante :

octave primitive	*ut*	=	1				
1re octave. . .	*fa*	=	1	×	$\frac{2}{3}$		
2me octave . .	*si bémol*	=	$\frac{2}{3}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{4}{9}$
	mi bémol	=	$\frac{4}{9}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{8}{27}$
3me octave . .	*la bémol*	=	$\frac{8}{27}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{16}{81}$
	ré bémol	=	$\frac{16}{81}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{32}{243}$
4me octave . .	*sol bémol*	=	$\frac{32}{243}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{64}{729}$
5me octave . .	*ut bémol*	=	$\frac{64}{729}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{128}{2187}$
	fa bémol	=	$\frac{128}{2187}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{256}{6561}$
6me octave . .	*si*^{bb}	=	$\frac{256}{6561}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{512}{19683}$
	mi^{bb}	=	$\frac{512}{19683}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{1024}{59049}$
7me octave . .	*la*^{bb}	=	$\frac{1024}{59049}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{2048}{177147}$
	ré^{bb}	=	$\frac{2048}{177147}$	×	$\frac{2}{3}$	=	$\frac{4096}{531441}$

Comme il a été dit plus haut, pour ramener les rapports ascendants à la gamme primitive, il faut diviser par 2 pour une octave, par 4 pour 2 octaves, par 8 pour 3 octaves, et ainsi de suite. Cette règle est facile à comprendre si l'on se

rappelle que les nombres de vibrations doublent pour une même note d'une octave à l'autre.

Pour ramener les rapports descendants, il faudra donc multiplier par 2 pour une octave, par 4 pour 2, etc.

Prenons maintenant notre gamme diatonique majeure.

Nous avons *ut*, point de départ, = 1 :

ré $= \frac{9}{4}$	Il se trouve dans la première octave ascendante de la gamme primitive; nous avons donc à diviser sa valeur par 2, et nous obtenons	$\frac{9}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{9}{8}$
mi $= \frac{81}{16}$	Il se trouve dans la deuxième octave ascendante, et nous avons donc.	$\frac{81}{16} \times \frac{1}{4} = \frac{81}{64}$
fa $= \frac{2}{3}$	Il se trouve dans la première octave descendante, et nous avons donc à multiplier sa valeur par 2 et nous obtenons. .	$\frac{3}{2} \times 2 = \frac{4}{3}$
sol $= \frac{3}{2}$	Il se trouve dans l'octave primitive ; ce rapport exprime donc sa valeur réelle . .	
la $= \frac{9}{4}$	Il se trouve dans la première octave ascendante ; nous avons donc.	$\frac{27}{8} \times \frac{1}{2} = \frac{27}{16}$
si $= \frac{243}{32}$	Il se trouve dans la deuxième octave ascendante ; nous avons donc.	$\frac{243}{32} \times \frac{1}{4} = \frac{243}{128}$

Toutes ces valeurs placées dans l'ordre de la gamme, nous donnent

ut	*ré*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{81}{64}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{27}{16}$	$\frac{243}{128}$	2

En comparant le rapport de ces intervalles, au moyen de la division, nous trouvons :

entre *ré* et *ut* $\frac{9}{8} : 1 = \frac{9}{8}$

entre *ré* et *mi* $\frac{81}{64} : \frac{9}{8} = \frac{81}{64} \times \frac{8}{9} = \frac{648}{576} - \frac{9}{8}$

entre *mi* et *fa* $\frac{4}{3} : \frac{81}{64} = \frac{256}{243}$

entre *fa* et *sol* $\frac{3}{2} : \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$

entre *sol* et *la* $\frac{27}{16} : \frac{3}{2} = \frac{9}{8}$

entre *la* et *si* $\frac{243}{128} : \frac{27}{16} = \frac{9}{8}$

entre *si* et *ut* $2 : \frac{243}{128} = \frac{256}{243}$

Cette gamme ne nous donne plus que deux sortes d'intervalles, le ton $\frac{8}{9}$ et le demi-ton $\frac{256}{243}$, ce qui est plus conforme à la pratique que les tons majeurs et mineurs de la gamme des géomètres et dont l'oreille la mieux organisée ne pourrait saisir la différence.

Les explications qui précèdent nous permettent d'établir la gamme de Pythagore en réduisant en valeurs décimales les rapports fractionnaires que nous avons obtenus précédemment.

DÉSIGNATION DES NOTES.	NOMBRE DE VIBRATIONS.	LONGUEURS DES CORDES.
ut	1.0000	1.0000
ré bémol	1.0535	0.9492
ut dièse	1.0679	0.9364
ré	1.1250	0.8888
mi bémol.	1.1852	0.8439
ré dièse	1.2014	0.8324
mi	1.2656	0.7901
fa	1.3333	0.7500
sol bémol.	1.4047	0.7118
fa dièse	1.4238	0.7023
sol.	1.5000	0.6666
la bémol	1.5802	0.6328
sol dièse	1.6018	0.6243
la	1.6875	0.5926
si bémol	1.7778	0.5624
la dièse	1.8020	0.5549
si	1.8984	0.5267
ut	2.0000	0.5000

La gamme de Pythagore est-elle la vraie gamme de la musique? Cette question a été si souvent soulevée et discutée sans résultat que vous laisserons à d'autres le soin de la résoudre. Disons seulement que le point vulnérable de la doctrine pythagoricienne est celui-ci.

Si le cycle ou la succession des quintes engendrait réellement le rapport de chacun des intervalles de la gamme, il faudrait évidemment que le résultat obtenu par la succession

des quintes, fût le même que celui obtenu par la succession des octaves arrivant au même but. Nous avons vu qu'en partant de *ut* = 1, nous arrivons pour *si dièse* — qui devrait correspondre exactement à $\frac{128}{1}$, rapport d'un intervalle de 7 octaves en nous servant de la succession de 12 quintes — au rapport $\frac{531441}{4096}$.

Si nous réduisons le rapport de 7 octaves $\frac{128}{1}$ et le rapport de 12 quintes $\frac{531441}{4096}$ au même dénominateur, nous obtenons

$$\frac{128 \times 4096}{4096} = \frac{524138}{4096}$$

pour le rapport des octaves, et

$$\frac{531441 \times 1}{4096} = \frac{531441}{4096}$$

pour le rapport des quintes.

Si nous divisons ces deux rapports, nous obtenons pour l'excédant de la succession des quintes sur celles des octaves, la fraction $\frac{531441}{524138}$, que l'on appelle le *comma pythagoricien.*

Les partisans de la doctrine pythagoricienne s'appuient sur la petite valeur de cette fraction pour combattre les attaques dirigées contre leur gamme.

Nous devons à M. Barbereau une très-remarquable théorie de la tonalité basée sur la progression triple. Cette progression donne les mêmes résultats que la doctrine pythagoricienne; avec cette restriction cependant, que les rapports qu'elle exprime sont en nombres entiers. (*)

Voici comment cette progression s'explique :

Nous partons d'*ut* = 1 vibration, produit par une longueur de corde supposée 1.

Nous savons que si nous réduisons cette corde au tiers de

(*) *Études sur l'origine du système musical.* — Paris, Gauthier Villars, 1864.

sa longueur, nous obtenons un son *sol* faisant 3 fois plus de vibrations.

Prenant le tiers de la longueur de corde obtenue pour *sol*, nous aurons un *ré* produit par une longueur de corde de $\frac{1}{3} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$, et comme ce nombre de vibrations est en raison inverse de la longueur des cordes, *ré* fera 9 vibrations.

Diminuons encore la corde $\frac{1}{9}$ d'un tiers, nous aurons un *la* produit par $\frac{1}{9} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{27}$ de la corde exécutant conséquemment 27 vibrations.

En continuant ainsi, nous obtiendrons la valeur en nombres entiers pour toutes les notes de la gamme.

Pour ramener ces valeurs à la gamme primitive, nous opérons comme nous l'avons fait dans les exemples précédents.

Le premier son *sol* se trouve une octave au-dessus de la gamme primitive; nous divisons donc sa valeur par 2, et nous avons $\frac{3}{2}$.

Le son suivant *ré* = 9 vibrations, se trouve à trois octaves de la gamme primitive, nous avons donc pour *ré* $\frac{9}{8}$.

La = 27 vibrations, se trouve à quatre octaves de la gamme primitive, nous avons donc à diviser sa valeur par 16 pour la ramener dans la gamme primitive; donc *la* = $\frac{27}{16}$.

En poursuivant de la même façon, nous obtiendrons, pour les autres sons de la gamme produite par la progression triple, des valeurs exactement semblables à celles qui sont le produit de la succession des quintes.

M. Barbereau n'attache aucune importance au comma pythagoricien, et ne redoute pas les attaques qu'il permet de soulever contre son système; pour lui, la tolérance de l'organe auditif dans l'appréciation des sons et de leurs rapports est incontestable. « Cette appréciation n'est point absolue, mais approximative, dit-il, et l'oreille rapporte à une complète identité de fonctions dans la mélodie et l'harmonie les sons qui ne divergent point entre eux au delà d'une certaine limite. »

Tableau comparatif des longueurs de cordes permettant, à l'aide du sonomètre, de se rendre compte de tous les sons de la gamme :

DÉSIGNATION DES NOTES	des Géomètres.	Tempérée.	de Pythagore.
ut.	1=00000	1=00000	1=0000
ut dièse	0.96000	0.94367	0.9364
ré bémol.	0.92222		0.9492
ré.	0.88888	0.89090	0.8888
ré dièse	0.85332	0.84090	0.8324
mi bémol	0.83333		0.8439
mi	0.80000	0.79370	0.7901
fa.	0.75000	0.74915	0.7500
fa dièse	0.72000	0.70710	0.7023
sol bémol	0.69444		0.7118
sol	0.66666	0.66742	0.6666
sol dièse.	0.64000	0.62996	0.6243
la bémol.	0.62500		0.6328
la.	0.60000	0.59461	0.5926
la dièse	0.57600	0.56123	0.5549
si bémol.	0.55555		0.5624
si.	0.53333	0.52973	0.5267
do	0.50000	0.50000	0.5000

D'après le système de M. Barbereau, continué par M. Durutte (*), une gamme diatonique majeure se forme toujours de la succession de sept quintes dont la deuxième est la

(*) Voir, pour la formation des gammes, l'ouvrage intitulé : *Technie ou Lois générales du système harmonique.* Paris, 1855; chez Gauthier Villars, page 57.

tonique ou premier degré. Ainsi les 7 quintes suivantes donnent la tonalité d'*ut majeur :*

fa ut sol ré la mi si

Les suivantes donnent la tonalité de *mi bémol :*

la^b *mi*^{b} *si*^{b} *fa do sol ré*

On remarque que la première quinte est toujours le quatrième degré de la gamme.

Pour former la gamme chromatique, on ajoute cinq quintes à droite et quatre à gauche.

Ainsi dans la gamme d'*ut* nous avons :

ré^b	*la*^{b}	*mi*^{b}	*si*^{b}	*fa*	*ut*	*sol*	*ré*	*la*	*mi*	*si*	*fa*^{d}	*ut*^{d}	*sol*^{d}	*ré*^{d}	*la*^{d}
4	3	2	1								1	2	3	4	5

dont on forme la gamme chromatique en prenant indifféremment une partie des quintes additionnelles de droite ou de gauche ; ainsi nous avons :

ut, ut^d ou *ré*^{b}, *ré ré*^{d} ou *mi*^{b}, *mi, fa, fa*^{d}, *sol, sol*^{d} ou *la*^{b}, *la, la*^{d} ou *si*^{b}, *si, do.*

La formation de cette gamme prouve qu'il est contraire aux lois de la tonalité d'accompagner : la tonique (1er degré), la sous-dominante (4e degré) et la dominante (5e degré), du signe de l'altération descendante, et qu'il est contraire aux mêmes lois, d'ajouter les signes de l'altération ascendante à la note sensible (7e degré) et à la médiante (3e degré).

Le tableau suivant nous permet d'apprécier la différence de chacun des rapports de la gamme des géomètres et de la gamme de Pythagore, et de les comparer avec ceux de la gamme tempérée que nous considérons comme la seule gamme *pratique* possible.

	NOMBRE DE VIBRATIONS		
	DE LA GAMME DES GÉOMÈTRES	DE LA GAMME TEMPERÉE.	DE LA GAMME DE PYTHAGORE.
ut.	1.0000	1.0000	1.0000
ré bémol.	1.0800	1.0594	1.0535
ut dièse	1.0416	1.0594	1.0679
ré.	1.1250	1.1224	1.1250
mi bémol	1.2000	1.1892	1.1852
ré dièse	1.1718	1.1892	1.2014
mi	1.2500	1.2599	1.2656
fa.	1.3333	1.3348	1.3333
sol bémol	1.4400	1.4142	1.4047
fa dièse	1.3888	1.4142	1.4238
sol	1.5000	1.4983	1.5000
la bémol.	1.6000	1.5874	1.5802
sol dièse.	1.5625	1.5874	1.6018
la.	1.6666	1.6817	1.6875
si bémol	1.8000	1.7818	1.7778
la dièse	1.7361	1.7818	1.8020
si.	1.8750	1.8877	1.8984
ut.	2.0000	2.0000	2.0000

L'excursion que nous venons de faire dans la domaine du calcul musical, va nous permettre d'apprécier en connaissance de cause l'accord qu'il faut donner à chacun de nos instruments, de musique.

Nous avons déjà acquis la certitude que la gamme tempérée est celle qui convient à tous les instruments à sons fixes, et que sans cette gamme, il serait impossible de les construire de façon à pouvoir exécuter avec la justesse satisfaisante les diffé-

rents intervalles de notre système musical. Du reste, lorsque l'on songe que l'accord par le tempérament égal réside dans le partage du comma pythagoricien réparti par douzième sur chacune des 12 quintes qui complètent l'accord, on reste convaincu de la faible différence qui existe entre la justesse absolue et la justesse tempérée.

Le tableau qui précède démontre, mieux que ne pourrait le faire la plus belle théorie, qu'il serait fort avantageux pour nos oreilles, si les instruments d'un orchestre ne prenaient d'autres licences que celles que leur donne l'accord au tempérament égal.

Nous avons dit plus haut qu'on entend par instruments à sons fixes, l'orgue, le piano, l'harmonium, la harpe, etc. Nous y joindrons encore tous les instruments dont la production des sons est basée sur l'ouverture de trous latéraux reliant l'un harmonique à l'autre, tels que les flûtes et hautbois, bassons, clarinettes, saxophones, etc. Ce sont ces instruments que, généralement, par une habitude vicieuse, incompréhensible, on accorde avec le seul secours de l'oreille, en essayant de donner aux intervalles la justesse rigoureuse de leurs rapports. Il s'ensuit bien souvent qu'un instrument juste en tel ton, paraît absolument faux dans un autre. Alors, que fait-on? On le corrige par le tâtonnement, et l'on arrive à une espèce d'accord lequel, le plus souvent, ne fait que justifier la mauvaise réputation des instruments à vent. On pourrait, au contraire, en prenant pour guide un instrument à sons fixes, l'harmonium de préférence, dont l'accord au tempérament égal aurait été exactement observé, placer les trous latéraux et leur donner des dimensions telles que chacun des sons qu'ils produisent fût exactement à l'unisson de ceux de l'instrument que nous avons choisi pour guide.

C'est vainement qu'on essayerait de persuader à un artiste qui accorde un instrument à trous latéraux, que l'oreille peut le tromper. C'est là cependant un fait non seulement incontestable, mais inévitable, car l'inexpérience de

tempérer les rapports entre les intervalles l'obligera à donner à ceux-ci les rapports exacts, précisément parce qu'il a l'oreille bonne et qu'il n'a à sa disposition qu'un instrument dont le nombre de trous et de sons est limité.

Mais, dira-t-on, puisque des instruments, comme le piano et l'orgue, s'accordent par quintes tempérées, pourquoi ne le ferions-nous pas aussi ? On oublie, en faisant cette question, que ces instruments peuvent produire leurs sons simultanément et que dans cette condition la moindre imperfection de justesse se révèle immédiatement; tandis que pour les sons dont le rapport doit se juger par une audition alternative, l'erreur est commune et d'autant plus facile que l'intervalle est plus petit. Ainsi la quinte produite par deux sons alternatifs pourra varier dans une infinité de rapports tout en satisfaisant l'oreille; au contraire, si l'on produit les deux sons simultanément, à l'instant même il n'y a plus qu'un rapport qui satisfasse l'oreille d'une façon complète, c'est celui de $\frac{3}{2}$, que l'exigence du tempérament égal oblige de diminuer du douzième de la fraction $\frac{531441}{524158}$.

Les instruments à sons libres sont les instruments à cordes, violon, alto, violoncelle, contrebasse. Ils s'accordent par *quintes justes;* leur gamme est donc celle de Pythagore plutôt que toute autre; seulement les modifications qu'ils peuvent apporter à la longueur de la corde pour satisfaire aux exigences de l'oreille font qu'ils tempèrent malgré eux pour se mettre dans les conditions d'accord avec les instruments à sons fixes qu'ils accompagnent.

Les instruments en cuivre sont également à sons fixes parce que leur embouchure ne peut produire que des modifications insignifiantes dans les rapports des intervalles qu'ils produisent.

Ces intervalles appartiennent tous à la gamme des géomètres puisque nous avons pu, au moyen de la série des harmoniques des instruments de cuivre, calculer les rapports entre les degrés de cette gamme.

La production des harmoniques est le résultat du partage des tuyaux en divisions de plus en plus petites, suivant

l'ordre de la progression arithmétique inverse 1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, etc. Il est évident que si les instruments de cuivre n'avaient pas de limite dans la production des harmoniques, on finirait par produire tous les sons possibles, depuis le plus grave, déterminé par la longueur fondamentale que nous avons appelé le son 1, jusqu'au plus aigu qui n'a pas de limite théorique. Parmi ces sons, il y en a naturellement qui ne peuvent pas être employés parce que le nombre de leurs vibrations serait en désaccord complet avec celui des sons auxquels on les associerait.

Le cor est l'instrument qui, par suite de sa grande longueur et de son petit diamètre, emploie le plus grand nombre d'harmoniques; il pourra donc nous aider le plus avantageusement dans l'examen que nous allons entreprendre, et qui servira naturellement pour tous les instruments, en tenant compte des limites de leur étendue.

Le premier et seul son de l'octave fondamentale n'est sujet à aucune observation.

Les sons 2 *et* 3 de l'octave grave sont les plus justes de toute la série; le son 2 se trouve exactement à l'octave du son 1, et le son 3 se trouve dans le rapport exact de quinte avec le son 2 et de douzième avec le son 1.

Les sons 4, 5, 6, 7 de l'octave moyenne nous offrent des rapports de justesse différents. Le son 4 est exactement à l'octave du son 2. Le son 6 est dans le même rapport avec le son 3. Le son 5 se trouve dans le rapport de tierce majeure $\frac{5}{4}$ avec le son 4, et sera conséquemment trouvé un peu trop bas, si on le compare à une tierce tempérée, et sensiblement trop bas, si on le compare à une tierce pythagoricienne produite, on le sait, par la succession des quintes.

En effet, le rapport $\frac{5}{4}$, réduit en décimales, nous donne 1,2500, tandis que la tierce tempérée exige 1,2599 et la tierce pythagoricienne 1,2656. Voyons maintenant s'il est impossible d'employer le son 7 avec les conditions de justesse nécessaires.

Nous avons vu que les divisions des tubes diminuent en rai-

son inverse du nombre de vibrations. Les sons 5 et 6 nous donnent l'intervalle de tierce mineur *mi-sol*, car si nous réduisons en décimales, nous obtenons $\frac{6}{5} = 1.2000$, valeur exacte de la tierce mineure des géomètres. (Voir le tableau page 228). Les parties vibrantes pour le rapport 6 et 7 diminuant de longueur, il est évident que ce rapport sera trop petit pour exprimer aussi un intervalle de tierce mineure, car si nous réduisons en décimales, nous obtenons $\frac{7}{6} = 1.1666$, dont la valeur est trop petite aussi bien pour la tierce mineure tempérée que pour la tierce pythagoricienne.

Le son 7 n'offre donc pas la justesse nécessaire, il ne pourra s'employer qu'exceptionnellement.

Les sons 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, appartiennent à l'octave aiguë, et complètent, avec le son 16 de l'octave suraiguë l'étendue des harmoniques employés sur les instruments de cuivre.

Les sont 8 et 16 sont en relations d'octaves exactes avec les sons 1. 2. 4.

Le son 8 établit avec le son 7 le rapport du ton maxime que rejette notre système musical.

Le son 9 est en relation de ton majeur avec le son 8, et le son 10, en relation de ton mineur avec le son 9. — Le son 9 est dans un rapport exact avec celui qu'exige le ton pythagoricien et n'est que légèrement plus haut que le ton tempéré. Le son 10 est à l'octave exacte du son 5 et les observations que nous avons faites quant à ce dernier harmonique lui sont naturellement applicables.

Le rapport 9-10 détermine le ton mineur.

Le rapport 10 : 11 est plus petit que le ton mineur. Réduisons-le en décimales pour apprécier la valeur du son 11, — rapporté au son 8, considéré comme tonique — nous avons $\frac{11}{8} = 1.3750$, c'est-à-dire que le son 11 ne diffère que légèrement du *fa dièse* des géomètres, mais ne peut, dans aucun cas, être employé comme *fa*, étant beaucoup trop élevé. Il est vrai que le cor possède exceptionnellement la faculté de

baisser les sons par l'introduction de la main dans le pavillon, mais nous n'avons pas ici à nous occuper de ce moyen factice, qui n'existe que pour le cor.

Le son 12 est en relation d'octave exacte avec les sons 3 et 6.

Le son 13, rapporté au son 8 comme tonique, nous donne la valeur décimale $\frac{13}{8} = 1.6250$; il se rapproche le plus du *sol dièse* pythagoricien, mais ne pourra jamais être considéré comme *la*.

Le son 14 est à l'octave exacte du son 7 et donne lieu aux mêmes observations.

Le son 15, rapporté à la tonique, nous donne une valeur décimale de $\frac{15}{8} = 1.8750$, valeur du *si* des géomètres, trop bas pour le *si* tempéré, et beaucoup trop bas pour le *si* pythagoricien.

Lorsque nous avons calculé les rapports de la gamme des géomètres, nous avons trouvé que le demi-ton majeur nous donne le rapport vibratoire de 15 : 16, et effectivement les harmoniques 15 et 16, *si-ut*, nous offrent ce rapport. Nous avons vu aussi que le demi-ton mineur exigeait le rapport vibratoire de 24 : 25.

Nous savons que l'harmonique 24 est un *sol*, que l'harmonique 13 est presque un *sol dièse* et que conséquemment l'harmonique 26 donne le même son à l'octave supérieure. Le rapport 24 : 25, que nous intercalons entre 24 : 26, rapport de *sol* à *sol dièse* haut, n'est donc que le rapport d'un tiers de ton environ que nous appelons improprement *demi-ton mineur*.

Il est facile de le prouver, car si nous réduisons en décimales le rapport $\frac{25}{24}$, nous avons 1,0416 valeur de *ut* dièse comparé à *ut* = 1,0000 ; c'est-à-dire que nous haussons *ut* de 0.0416 vibrations, pour faire *ut* dièse ; or trois fois 0.416 = 0.1248 vibrations dont il faudra augmenter la valeur de *ut* pour faire le ton majeur,

$$\begin{array}{r} 1.0000 \\ +\ 0,1248 \\ \hline 1.1248 \end{array}$$

valeur presque exacte de *ré*.

Si maintenant nous examinons la valeur du demi-ton pytharicien $\frac{256}{243}$, en le réduisant en décimales, nous trouvons 1,0535, valeur rapprochée du demi-ton tempéré obtenu par le partage du ton en parties égales.

Si nous divisons la valeur du ton $\frac{9}{8}$ par le demi-ton pythagoricien $\frac{256}{243}$, nous obtenons pour valeur d'*ut* dièse :

$$\frac{9}{8} \times \frac{243}{256} = \frac{2187}{2048}$$

et cette fraction, réduite en décimales, nous donne 1.0679 qui n'est pas fort éloignée non plus du demi-ton tempéré. D'après ce que nous avons vu jusqu'à présent, il est de la dernière évidence que la gamme de Pythagore est celle qui se rapproche le plus de la gamme pratique des musiciens. A ce point de vue, les rapports qui la constituent sont dignes d'attirer l'attention des artistes. Nous compléterons ce que nous avons dit de la gamme des musiciens, en ajoutant que les disciples de la doctrine pythagoricienne ont donné les noms suivants aux intervalles qui donnent le ton et qui sont :

1° La *seconde majeure ut* : *ré* $\frac{9}{8}$;

2° La *seconde mineure* ou *limma ut-ré*^{b} ou *ut-ré*^{d} $\frac{256}{243}$;

3° La *seconde chromatique* ou *apothome ut-ut*^{d} ou *ré*^{b}*-ré* $\frac{2187}{2048}$;

4° *L'enharmonique* ou *comma ré*^{b}*-ut*^{d} $\frac{531441}{524288}$, provenant de la division de l'apothome par le Limma $\frac{2187}{2048} : \frac{256}{243}$

Bien que les harmoniques employés se réduisent à 16, il n'est pas sans intérêt de savoir à quels sons correspondent les harmoniques 16 à 32, dont se compose l'octave suraiguë ; bien souvent la connaissance des rapports vibratoires de ces harmoniques pourra nous être d'une grande utilité pour l'examen de

la valeur des gammes, que l'on présente aujourd'hui comme dérivant des vrais rapports des intervalles de notre système musical actuel, depuis l'introduction de l'accord de septième dominante.

L'octave suraiguë se compose d'une suite de 16 sons commençant avec le seizième harmonique et finissant avec le trente et unième.

Si nous doublons le nombre de vibrations des sons connus de l'octave aiguë, nous obtenons, pour les sons semblables de l'octave suraiguë :

ut	=	16
ré	=	18
mi	=	20
fa dièse	=	22
sol	=	24
sol dièse	=	26
si bémol	=	28
si	=	30

Entre *ut* et *ré*, nous intercalons le son 17, correspondant assez exactement à *ut dièse*, ainsi que l'indique le rapport $\frac{17}{16}$ ou 1.0633.

Entre *ré* et *mi* s'intercale le son 19, dont la valeur $\frac{19}{18}$ ou 1.0555 se rapproche du demi-ton tempéré.

Entre *mi* et *fa dièse* (ce dernier son étant trop bas, si l'on se rappelle notre remarque pour le son 11) s'intercale le son 21, dont le rapport $\frac{21}{20}$, est inférieur au demi-ton. Nous l'avons noté *mi-dièse*.

Entre *fa dièse* et *sol* s'intercale le son 23, que nous avons noté *fa double dièse*.

Le son 27 correspond exactement à la valeur du *la* de la gamme pythagoricienne, puisque nous l'avons exprimé par $\frac{27}{16}$. Conséquemment, entre les sons 24 et 27, nous avons trois intervalles que nous pouvons évaluer à des tiers de ton et dont la notation musicale manque.

Entre les sons 28 et 30, nous avons deux intervalles de quart

de ton, de même qu'entre 30 et 32; seulement le rapport des premiers est plus grand, car on se rappelle que les sons 7 et 14 et conséquemment 28, sont trop bas pour être considérés exactement comme *si*^{b}.

Nous ne croyons pas inutile de faire connaître ici ce que l'on entend par logarithmes acoustiques. Ce sont des nombres calculés de façon à mesurer exactement la grandeur d'un intervalle musical en déterminant combien de fois il comprend un autre intervalle pris pour unité.

On a calculé des tables de logarithmes acoustiques basées sur des unités très-diverses. Les meilleures sont celles de M. Delezenne, où l'unité d'intervalle est le *comma* $\frac{81}{80}$.

Pour déterminer la grandeur d'un intervalle dont le rapport est connu, on cherche le logarithme de chacun des termes qui constitue ce rapport, et la différence donne le nombre de commas contenus dans cet intervalle.

Ainsi, si nous voulons connaître combien de fois le comma $\frac{81}{80}$ est compris dans l'octave dont le rapport est $\frac{2}{1}$, nous avons

$$\begin{array}{rl} \log.\ 2 = & 55{,}7976.3048 \\ \log.\ 1 = & 0{,}0000.0000 \\ \hline & 55{,}7976.3048 \end{array}$$

c'est-à-dire que l'octave comprend 55 commas, plus la fraction décimale.

Le ton majeur dont le rapport est $\frac{9}{8}$ est un intervalle dont la grandeur est de :

$$\begin{array}{rl} \log.\ 9 = & 176{,}8743,\ \text{etc.} \\ \log.\ 8 = & 167{,}3928,\ \text{etc.} \\ \hline & 9{,}4815 \end{array}$$

C'est-à-dire que le ton majeur mesure 9 commas 4815 dix-millièmes.

Il serait superflu de nous étendre sur les avantages qu'offre l'emploi des logarithmes acoustiques pour les musiciens qui

s'intéressent au calcul musical. Bien souvent nous avons entendu des artistes estimer la grandeur d'un intervalle en quarts de tons, en commas, sans donner de base à leur appréciation, et bien des fois nous avons vu interpréter comme demi-ton le rapport $\frac{16}{15}$ tout aussi bien que le rapport $\frac{25}{24}$, alors que le premier comprend 5,1953 commas, tandis que le second n'en contient que 3,2861.

La table suivante, que nous empruntons aux ouvrages de M. Delezenne, nous permettra d'évaluer exactement en *commas* tout intervalle dont le rapport vibratoire nous est connu.

TABLE DES LOGARITHMES ACOUSTIQUES

CALCULÉE PAR DELEZENNE.

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
1	0.0000 0000	31	276.4324 1507	61	330.9210 9046
2	55.7976 3048	32	278.9881 5242	62	332.2300 4556
3	88.4371 5195	33	281.4652 3909	63	333.5180 5647
4	111.5952 6097	34	283.8683 7172	64	334.7857 8290
5	129.5580 8586	35	286.2068 3843	65	336.0338 5387
6	144.2347 8243	36	288.4695 6486	66	337.2628 6957
7	156.6437 5258	37	290.6751 5392	67	338.4734 0313
8	167.3928 9145	38	292.8219 2020	68	339.6660 0220
9	176.8743 0389	39	294.9129 1997	69	340.8411 9044
10	185.3557 1633	40	296.9509 7730	70	341.9994 6891
11	193.0280 8714	41	298.9387 0705	71	343.1413 1734
12	200.0324 1291	42	300.8785 3501	72	344.2671 9535
13	206.4757 6802	43	302.7727 1569	73	345.3775 4350
14	212.4413 8306	44	304.6233 4811	74	346.4727 8440
15	217.9952 3780	45	306.4323 8974	75	347.5533 2364
16	223.1905 2194	46	308.2016 6898	76	348.6195 5069
17	228.0707 4123	47	309.9328 9624	77	349.6718 3972
18	232.6719 3438	48	311.6276 7388	78	350.7105 5045
19	237.0242 8972	49	313.2875 0516	79	351.7360 2884
20	241.1533 4682	50	314.9138 0218	80	352.7486 0779
21	245.0809 0452	51	316.5078 9318	81	353.7486 0779
22	248.8257 1763	52	318.0710 2899	82	354.7363 3754
23	252.4040 3850	53	319.6043 8897	83	355.7120 9451
24	255.8300 4340	54	321.1090 8632	84	356.6761 6549
25	259.1161 7170	55	322.5861 7299	85	357.6288 2708
26	262.2733 9851	56	324.0366 4403	86	358.5703 4618
27	265.3114 5584	57	325.4614 4166	87	359.5009 8041
28	268.2390 1355	58	326.8614 5895	88	360.4209 7859
29	271.0638 2846	59	328.2375 4314	89	361.3305 8109
30	273.7928 6828	60	329.5904 9876	90	362.2300 2023

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
91	363.1195 2060	126	389.3156 8696	161	409.0477 9107
92	363.9992 9946	127	389.9520 4572	162	409.5462 3827
93	364.8695 6702	128	390.5834 1339	163	410.0416 1808
94	365.7305 2672	129	391.2098 6764	164	410.5339 6802
95	366.5823 7557	130	391.8314 8435	165	411.0233 2494
96	367.4253 0437	131	392.4483 3768	166	411.5097 2500
97	368.2594 9800	132	393.0605 0006	167	411.9932 0372
98	369.0851 3564	133	393.6680 4230	168	412.4737 9598
99	369.9023 9103	134	394.2710 3362	169	412.9515 3604
100	370.7114 3267	135	394.8695 4169	170	413.4264 5757
101	371.5124 2400	136	395.4636 3269	171	413.8985 9361
102	372.3055 2366	137	396.0533 7133	172	414.3679 7666
103	373.0908 8565	138	396.6388 2093	173	414.8346 3863
104	373.8686 5947	139	397.2200 4341	174	415.2986 1090
105	374.6389 9037	140	397.7970 9940	175	415.7599 2428
106	375.4020 1945	141	398.3700 4818	176	416.2186 0908
107	376.1578 8383	142	398.9389 4783	177	416.6746 9508
108	376.9067 1681	143	399.5838 5516	178	417.1282 1158
109	377.6486 4800	144	400.0648 2583	179	417.5791 8735
110	378.3838 0347	145	400.6219 1431	180	418.0276 5071
111	379.1123 0586	146	401.1751 7398	181	418.4736 2950
112	379.8342 7451	147	401.7246 5710	182	418.9171 5108
113	380.5498 2558	148	402.2704 1489	183	419.3582 4241
114	381.2590 7214	149	402.8124 9751	184	419.7969 2995
115	381.9621 2434	150	403.3509 5413	185	420.2332 3976
116	382.6590 8943	151	403.8858 3294	186	420.6671 9750
117	383.3500 7191	152	404.4171 8117	187	421.0988 2837
118	384.0351 7362	153	404.9450 4513	188	421.5281 5720
119	384.7144 9381	154	405.4694 7020	189	421.9552 0842
120	385.3881 2925	155	405.9905 0092	190	422.3800 0605
121	386.0561 7428	156	406.5081 8093	191	422.8025 7377
122	386.7187 2094	157	407.0225 5307	192	423.2229 3485
123	387.3758 5900	158	407.5336 5932	193	423.6411 1223
124	388.0276 7604	159	408.0415 4091	194	424.0571 2848
125	388.6742 5755	160	408.5462 3827	195	424.4710 0582

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
196	424.8827 6613	231	438.1089 9167	266	449.4656 7278
197	425.2924 3095	232	438.4567 1992	267	449.7677 3304
198	425.7000 2152	233	438.8029 5256	268	450.0686 6410
199	426.1055 5872	234	439.1477 0240	269	450.3684 7437
200	426.5090 6315	235	439.4909 8209	270	450.6671 7217
201	426.9105 5508	236	439.8328 0410	271	450.9647 6573
202	427.3100 5448	237	440.1731 8079	272	451.2612 6317
203	427.7075 8104	238	440.5121 2430	273	451.5566 7255
204	428.1031 5415	239	440.8496 4666	274	451.8510 0181
205	428.4967 9290	240	441.1857 5973	275	452.1442 5884
206	428.8885 1613	241	441.5204 7524	276	452.4364 5141
207	429.2783 4239	242	441.8538 0477	277	452.7275 8722
208	429.6662 8996	243	442.1857 5973	278	453.0176 7390
209	430.0523 7686	244	442.5163 5143	279	453.3067 1897
210	430.4366 2086	245	442.8455 9101	280	453.5947 2988
211	430.8190 3946	246	443.1734 8948	281	453.8817 1402
212	431.1996 4994	247	443.5000 5774	282	454.1676 7867
213	431.5784 6929	248	443.8253 0652	283	454.4526 3105
214	431.9555 1431	249	444,1492 4646	284	454.7365 7831
215	432.3308 0154	250	444.4718 8803	285	455.0195 2751
216	432.7043 4729	251	444.7932 4161	286	455.3014 8565
217	433.0761 6765	252	445.1133 1744	287	455.5824 5963
218	433.4462 7849	253	445.4321 2564	288	455.8624 5631
219	433.8146 9544	254	445 7496 7621	289	456.1414 8247
220	434.1814 3396	255	446.0659 7903	290	456.4195 4480
221	434.5465 0926	256	446.3810 4387	291	456.6966 4994
222	434.9099 3635	257	446.6948 8039	292	456.9728 0447
223	435.2717 3005	258	447.0074 9812	293	457.2480 1487
224	435.6319 0500	259	447.3189 0650	294	457.5222 8759
225	435.9904 7559	260	447.6291 1484	295	457.7956 2899
226	436.3474 5606	261	447.9381 3236	296	458.0680 4537
227	436.7028 6046	262	448.2459 6816	297	458.3395 4298
228	437.0567 0263	263	448.5526 3126	298	458.6101 2799
229	437.4089 9626	264	448.8581 3054	299	458.8798 0652
230	437.7597 5483	265	449.1624 7482	300	459.1485 8461

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
301	459.4164 6827	336	468.2714 2646	371	476.2481 4054
302	459,6834 6342	337	468.5106 5076	372	476.4648 2799
303	459.9495 7595	338	468.7491 6653	373	476.6809 3272
304	460,2148 1165	339	468.9869 7753	374	476.8964 5886
305	460.4791 7631	340	469.2240 8805	375	477.1114 0949
306	460.7426 7561	341	469.4605 0221	376	477.3257 8769
307	461.0053 1521	342	469.6962 2409	377	477.5395 9649
308	461.2671 0069	343	469.9312 5774	378	477.7528 3890
309	461.5280 3759	344	470.1656 0714	379	477.9655 1793
310	461.7881 3141	345	470.3992 7629	380	478.1776 3654
311	462.0473 8755	346	470.6322 6912	381	478.3891 9767
312	462.3058 1142	347	470.8645 8952	382	478.6002 0425
313	462.5634 0833	348	471.0962 4138	383	478.8106 5918
314	462.8201 8355	349	471.3272 2852	384	479.0205 6534
315	463.0761 4232	350	471.5575 5476	385	479.2299 2557
316	463.3312 8981	351	471.7872 3386	386	479.4387 4372
317	463.5856 3114	352	472.0162 3956	387	479.6470 1958
318	463.8391 7140	353	472.2446 0557	388	479.8547 5896
319	464.0919 1561	354	472.4723 2557	389	480.0619 6362
320	464.3438 6875	355	472.6994 0319	390	480.2685 3630
321	464.5950 3577	356	472.9258 4206	391	480.4747 7973
322	464.8454 2156	357	473.1516 4576	392	480.6803 9661
323	465.0950 3095	358	473.3768 1783	393	480.8854 8962
324	465.3438 6875	359	473.6013 6181	394	481.0900 6144
325	465.5919 3972	360	473.8252 8119	395	481.2941 1469
326	465.8392 4856	361	474.0485 7944	396	481.4976 5200
327	466.0857 9995	362	474.2712 5998	397	481.7006 7598
328	466.3315 9850	363	474.4933 2623	398	481.9031 8921
329	466.5766 4882	364	474.7147 8157	399	482.1051 9424
330	466.8209 5542	365	474.9356 2935	400	482.3066 9363
331	467.0645 2282	366	475.1558 7289	401	482.5076 8991
332	467.3073 5548	367	475.3755 1649	402	482.7081 8556
333	467.5494 5781	368	475.5945 6043	403	482.9081 8309
334	467.7908 3420	369	475.8130 1095	404	483.1076 8497
335	468.0314 8898	370	476.0308 7025	405	483.3066 9363

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
406	483.5052 1153	441	490.1618 0905	476	496.3097 5478
407	483.7032 4106	442	490.3441 3974	477	496.4786 9286
408	483.9007 8463	443	490.5260 5838	478	496.6472 7714
409	484.0978 4462	444	490.7075 6683	479	496.8155 0910
410	484.2944 2339	445	490.8886 6694	480	496.9833 9022
411	484.4905 2327	446	491.0693 6054	481	497.1509 2194
412	484.6861 4662	447	491.2496 4945	482	497.3181 0573
413	484.8812 9572	448	491.4295 3548	483	497.4849 4302
414	485.0759 7287	449	491.6090 2043	484	497.6514 3525
415	485.2701 8036	450	491.7881 0608	485	497.8175 8384
416	485.4639 2044	451	491.9667 9419	486	497.9833 9022
417	485.6571 9536	452	492.1450 8655	487	498.1488 5577
418	485.8500 0734	453	492.3229 8489	488	498.3139 8191
419	486.0423 5861	454	492.5004 9094	489	498.4787 7002
420	486.2392 5134	455	492.6776 0645	490	498.6432 2149
421	486.4256 8773	456	492.8543 3312	491	498.8073 3768
422	486.6166 6995	457	473.0306 7265	492	498.9711 1997
423	486.8072 0013	458	493.2066 2674	493	499.1345 6970
424	486.9972 8042	459	493.3821 9707	494	499.2976 8822
425	487.1869 1293	460	493.5573 8531	495	499.4604 7688
426	487.3760 9977	461	493.7321 9312	496	499.6229 3701
427	487.5648 4304	462	493.9066 2215	497	499.7850 6992
428	487.7531 4480	463	494.0806 7403	498	499.9468 7694
429	487.9410 0711	464	494.2543 5040	499	500.1083 5937
430	488.1284 3202	465	494.4276 5287	500	500.2695 1852
431	488.3154 2157	466	494.6005 8304	501	500.4308 5566
432	488.5019 7777	467	494.7731 4252	502	500.5908 7209
433	488.6881 0263	468	494.9453 3288	503	500.7510 6909
434	488.8737 9814	469	495.1171 5571	504	500.9109 4792
435	489,0590 6626	470	495.2886 1257	505	501.0701 0985
436	489.2439 0897	471	495.4597 0501	506	501.2297 5612
437	489.4283 2822	472	495.6304 3459	507	501.3886 8799
438	489.6123 2593	473	495.8008 0283	508	501.5453 0669
439	489.7959 0403	474	495.9708 1127	509	501.7056 1346
440	489.9790 6444	475	496.1404 6142	510	501.8636 0951

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
511	502.0212 9608	546	507.3543 0303	581	512.3558 4709
512	502.1786 7436	547	507.5016 0218	582	512.4942 8043
513	502.3357 4556	548	507.6486 3230	583	512.6324 7611
514	502.4925 1087	549	507.7953 9435	584	512.7704 3495
515	502.6489 7150	550	507.9418 8932	585	512.9081 5776
516	502.8051 2861	551	508.0881 1818	586	513.0456 4535
517	502.9609 8338	552	508.2340 8189	587	513.1828 9852
518	503.1165 3698	553	508.3797 8142	588	513.3199 1807
519	503.2717 9058	554	508.5252 1771	589	513.4567 0479
520	503.4267 4532	555	508.6703 9171	590	513.5932 5947
521	503.5814 0236	556	508.8153 0438	591	513.7295 8290
522	503.7357 6284	557	508.9599 5665	592	513.8656 7586
523	503.8898 2789	558	509.1043 4945	593	514.0015 3912
524	504.0435 9865	559	509.2484 8371	594	514.1371 7346
525	504.1970 7622	560	509.3923 6036	595	514.2725 7966
526	504.3502 6174	561	509.5359 8032	596	514.4077 5848
527	504,5031 5631	562	509.6793 4450	597	514.5427 1067
523	504.6557 6102	563	509.8224 5381	598	514.6774 3700
529	504.8080 7699	564	509·7653 0915	599	514.8119 3823
530	504.9601 0530	565	510.1079 1143	600	514.9462 1510
531	505.1118 4703	566	510.2502 6154	601	515.0802 6836
532	505.2633 0326	567	510.3923 6036	602	515.2140 9875
533	505.4144 7507	568	510.5342 0880	603	515.3477 0703
534	505.5653 6352	569	510.6758 0772	604	515.4810 9391
535	505.7159 6968	570	510.8171 5800	605	515.6142 6013
536	505.8662 9458	571	510.9582 6051	606	515.7472 0643
537	506.0163 3930	572	511.0991 1613	607	515.8799 3552
538	506.1651 0486	573	511.2397 2571	608	516.0124 4214
539	506.3155 9230	574	511.3800 9012	609	516.1447 3299
540	506.4648 0266	575	511.5202 1019	610	516.2768 0679
541	506.6137 3695	576	511.6600 8680	611	516.4086 6426
542	506.7623 9621	577	511.7997 2077	612	516.5403 0609
543	506.9107 8144	578	511.9391 1295	613	516.6717 4054
544	507.0588 9365	579	512.0782 6418	614	516.8029 4569
545	507.2067 3385	580	512.2171 7528	615	516.9339 4485

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
616	517.0647 3117	651	521.5133 1960	686	525.7288 8822
617	517.1953 0535	652	521.6368 7905	687	525.8461 4820
618	517.3256 6808	653	521.7602 4913	688	525.9632 3763
619	517.4558 2003	654	521.8334 3043	689	526.0801 5699
620	517.5857 6189	655	522.0064 2353	690	526.1969 0678
621	517.7154 9434	656	522.1292 2899	691	526.3134 8748
622	517.8450 1804	657	522.2518 4739	692	526.4298 9960
623	517.9743 3367	658	522.3742 7930	693	526.5461 4361
624	518.1034 4190	659	522.4965 2528	694	526.6622 2001
625	518.2323 4340	660	522.6185 8590	695	526.7781 2926
626	518.3610 3881	661	522.7404 6173	696	526.8938 7186
627	518.4895 2881	662	522.8621 5331	697	527.0094 5829
623	518.6178 1404	663	522.9836 6120	698	527.1248 5901
629	518.7458 9515	664	523.1049 8596	699	527.2401 0450
630	518.8737 7280	665	523.2261 2815	700	527.3551 8525
631	519.0014 4764	666	523.3470 8830	701	527.4701 0170
632	519.1289 2029	667	523.4678 6696	702	527.5848 5434
633	519.2561 9141	668	523.5884 6468	703	527.6994 4364
634	519.3832 6163	669	523.7088 8200	704	527.8138 7005
635	519.5101 3157	670	523.8291 1947	705	527.9281 3403
636	519.6368 0187	671	523.9491 7760	706	528.0422 3606
637	519.7632 7318	672	524.0690 5695	707	528.1561 7658
638	519.8895 4609	673	524.1887 5803	708	528.2699 5605
639	520.0156 2124	674	524.3082 8124	709	528.3835 7493
640	520.1414 9924	675	524.4276 2754	710	528.4970 3368
641	520.2671 8071	676	524.5467 9701	711	528.6103 3273
642	520.3926 6626	677	524.6657 9033	712	528.7234 7255
643	520.5179 5650	678	524.7846 0801	713	528.8364 5357
644	520.6430 5204	679	524.9032 5057	714	528.9492 7624
645	520.7679 5349	680	525.0217 1853	715	529.0619 4101
646	520.8926 6144	681	525.1400 1241	716	529.1744 4832
647	521.0171 7649	682	525.2581 3270	717	529.2867 9860
648	521.1414 9924	683	525.3760 7992	718	529.3989 9230
649	521.2656 3028	684	525.4938 5458	719	529.5110 2985
650	521.3895 7020	685	525.6114 5718	720	529.6229 1168

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
721	529.7346 3823	756	533.5504 6939	791	537.1935 7816
722	629.8462 0992	757	533.6568 7914	792	537.2952 8249
723	529.9576 2719	758	533.7631 4841	793	537.3968 5848
724	530.0688 9046	759	533.8692 7758	794	537.4983 0646
725	530.1800 0016	760	533.9752 6702	795	537.5996 2676
726	530.2909 5671	761	534.0811 1709	796	537.7008 1969
727	530.4017 6054	762	534.1868 2815	797	537.8018 8557
728	530.5124 1205	763	534.2924 0058	798	537.9028 2473
729	530.6229 1168	764	534.3978 3473	799	538.0036 3747
730	530.7332 5983	765	534.5031 3098	800	538.1043 2412
731	530.8434 5692	766	534.6082 8966	801	538.2048 8499
732	530.9535 0337	767	434.7133 1116	802	538.3053 2039
733	531.0633 9959	768	534.8181 9582	803	538.4066 3064
734	531.1731 4698	769	534.9229 4400	804	538.5058 1605
735	531.2827 4295	770	535.0275 5605	805	538.6058 7692
736	531.3921 9093	771	535.1320 3134	806	538.7058 1358
737	531.5014 9027	772	535.2363 7320	807	538.8056 2632
738	531.6106 4143	773	535.3405 7899	808	538.9053 1545
739	531.7196 4478	774	535.4446 5007	809	539.0048 8128
740	531.8235 0074	775	535.5485 8677	810	539.1043 2412
741	531.9372 0969	776	535.6523 8945	811	539.2036 4426
742	532.0457 7203	777	535.7560 5844	812	539.3028 4201
743	532.1541 8816	778	535 8595 9410	813	539.4019 1767
744	532.2624 5847	779	535.9629 9677	814	539.5008 7155
745	532.3705 8335	780	536.0662 6678	815	539.5997 0393
746	532.4785 6320	781	536.1694 0449	816	539.6984 1512
747	532.5863 9840	782	536.2724 1021	817	539.7970 0541
748	532.6940 8934	783	536.3752 8430	818	539.8954 7510
749	532.8016 3641	784	536.4780 2709	819	539.9938 2449
750	532.9090 3998	785	536.5806 3892	820	540.0920 5387
751	533.0163 1095	786	536.6831 2011	821	540.1901 6352
752	533.1234 1817	787	536.7854 7100	822	540.2881 5376
753	533.2303 9356	788	536.8876 9192	823	540.3860 2481
754	533.3372 2697	789	536.9897 8320	824	540.4037 7710
755	533.4439 1879	790	537.0917 4517	825	540.5814 1079

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
826	540.6789 2620	861	544.0196 1158	896	547.2271 6597
827	540.7763 2363	862	544.1130 5206	897	547.3169 5846
828	540.8736 0336	863	544.2063 8420	898	547.4066 5091
829	540.9707 6567	864	544.2996 0826	899	547.4962 4354
830	541.0678 1084	865	544.3927 2448	900	547.5857 3658
831	541.1647 3917	866	544.4857 3312	901	547.6751 3020
832	541.2615 5093	867	544.5786 3441	902	547.7644 2468
833	541.3582 4639	868	544.6714 2862	903	547.8536 1022
834	541.4548 2584	869	544.7641 1598	904	547.9427 1703
835	541.5512 8956	870	544.8566 9674	905	548.0317 1534
836	541.6476 3783	871	544.9491 7115	906	548.1206 1537
837	541.7438 7091	872	545.0415 3945	907	548.2094 1732
838	541.8399 8909	873	545.1338 0189	908	548.2981 2143
839	541.9359 9264	874	545.2259 5870	909	548.3867 2789
840	542.0318 8183	875	545.3180 1013	910	548.4752 3693
841	542,1276 5693	876	545.4099 5641	911	548.5636 4876
842	542.2233 1829	877	545.5017 9780	912	548.6519 6360
843	542.3188 6596	878	545.5935 3452	913	548.7401 8165
844	542.4143 0043	879	545.6851 6681	914	548.8283 0313
845	542.5196 2189	880	545.7766 9493	915	548.9163 2826
846	542.6048 3061	881	545.8681 1909	916	549.0042 5723
847	542.6999 2686	882	545.9594 3953	917	549.0920 9026
848	542.7949 1090	883	546.0506 5650	918	549.1798 2756
849	542.8897 8300	884	546.1417 7022	919	549.2674 6933
850	542.9845 4342	885	546.2327 8093	920	549.3550 1580
851	543.0791 9241	886	546.3236 8886	921	549.4424 6715
852	543.1737 3026	887	546.4144 9425	922	549.5298 2361
853	543.2681 5721	888	546.5051 9732	923	549.6170 8537
854	543.3624 7352	889	546.5957 9830	924	549.7042 5263
855	543.4566 7946	890	546.6862 9743	925	549.7913 2562
856	543.5507 7528	891	546.7766 9493	926	549.8783 0452
857	543.6447 6124	892	546.8669 9103	927	549.9651 8954
858	543.7386 3759	893	546.9571 8596	928	550.0519 8088
859	543.8324 0460	894	547.0472 7994	929	550.1386 7576
860	543.9260 6251	895	547.1362 7320	930	550.2252 8335

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
931	550.3117 9488	966	553.2825 7350	1001	556.1476 0774
932	550.3982 1353	967	553.3658 6266	1002	556.2279 8615
933	550.4845 3950	968	553.4490 6574	1003	556.3082 8437
934	550.5707 7300	969	553.5321 8290	1004	556.3885 0258
935	550.6569 1422	970	553.6152 1433	1005	556.4686 4093
936	550.7429 6337	971	553.6981 6020	1006	556,5486 9958
937	550.8289 2062	972	553.7810 2070	1007	556.6286 7868
938	550.9147 8620	973	553.8637 9599	1008	556.7085 7841
939	551.0005 0027	974	553.7464 8625	1009	557.7883 9890
940	551.0862 4305	975	554.0270 9167	1010	556.8681 4033
941	551.1718 3473	976	554.1116 1240	1011	556.9478 0270
942	551.2573 3550	977	554.1940 4862	1012	557.0273 8661
943	561.3427 4555	978	554.2764 0051	1013	557.1068 9176
944	551.4280 6507	979	554.3586 6824	1014	557.1863 1847
945	551.5132 9427	980	554.4408 5197	1015	557.2656 6689
946	551.5984 3332	981	554.5229 5189	1016	557.3449 3717
947	551.6834 8242	982	554.6049 6817	1017	557.4241 2947
948	551.7684 4175	983	554.6869 0096	1018	557.5032 4394
949	551.8533 1152	984	554.7687 5045	1019	557.5822 8073
950	551.9380 9190	985	554.8505 1680	1020	557.6612 4000
951	552.0227 8308	986	554.9322 0018	1021	557.7401 2189
952	552.1073 8526	987	555.0138 0076	1022	557.8189 2656
953	552.1918 9862	988	555.0953 1871	1023	557.8976 5416
954	552.2763 2334	989	555.1767 5419	1024	557.9763 0484
955	552.3606 5961	990	555.2581 0737	1025	558.0548 7875
956	552.4449 0762	991	555,3393 7841	1026	558.1333 7604
957	552.5290 6755	992	555.4205 6749	1027	558.2117 9686
958	552.6131 3959	993	555.5016 7477	1028	558.2901 4136
959	552.6971 2391	994	555.5827 0041	1029	558.3684 0968
960	552.7810 2070	995	555.6636 4457	1030	558.4466 0198
961	552.8648 3014	996	555.7445 0743	1031	558.5247 1840
962	552.9485 5243	997	555.8252 8913	1032	558.6027 5909
963	553.0321 8772	998	555.9059 8986	1033	558.6807 2419
964	553.1157 3621	999	555.9866 0976	1034	558.7586 1386
965	553.1991 9808	1000	555.0671 4900	1035	558.8364 2824

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
1036	558.9141 6746	1071	561.5887 9771	1106	564.1774 1190
1037	558.9918 3169	1072	561.6639 2507	1107	564.2501 6289
1038	559.0694 2106	1073	561.7389 8238	1108	564.3228 4819
1039	559.1469 3572	1074	561.8139 6978	1109	564.3954 6792
1040	559.2243 7581	1075	561.8888 8739	1110	564.4680 2220
1041	559.3017 4147	1076	561.9637 3534	1111	564.5405 1114
1042	559.3790 3285	1077	562.0385 1376	1112	564.6129 3487
1043	559.4562 5009	1078	562.1132 2278	1113	564.6852 9349
1044	559.5333 9333	1079	562.1878 6253	1114	564.7575 8713
1045	559.6104 6271	1080	562.2624 3314	1115	564.8298 1591
1046	559.6874 5838	1081	562.3369 3473	1116	564.9019 7993
1047	559.7643 8047	1082	562.4113 6744	1117	564.9740 7932
1048	559,8412 2913	1083	562.4857 3138	1118	565.0461 1420
1049	559.9180 0450	1084	562.5600 2669	1119	565.1180 8467
1050	559.9947 0671	1085	562.6342 5350	1120	565.1899 9085
1051	560.0713 3590	1086	562.7084 1193	1121	565.2618 3286
1052	560.1478 9222	1087	562.7825 0210	1122	565.3336 1081
1053	560.2243 7581	1088	562.8565 2414	1123	565.4053 2481
1054	560.3007 8679	1089	562.9304 7818	1124	265.4769 7498
1055	560.3771 2531	1090	563.0043 6433	1125	565.5485 6144
1056	560.4532 9151	1091	563.0781 8274	1126	565.6200 8429
1057	560.5295 8552	1092	563.1519 3351	1127	565.6915 4365
1058	560.6057 0748	1093	563.2256 1678	1128	565.7629 3964
1059	560.6817 5752	1094	563.2992 3267	1129	565.8342 7235
1060	560.7577 3578	1095	563.3727 8129	1130	565.9055 4191
1061	560.8336 4240	1096	563.4462 6278	1131	565.9767 4843
1062	560.9094 7751	1097	563.5196 7725	1132	566.0478 9202
1063	560.9852 4125	1098	563.5930 2484	1133	566.1189 7279
1064	561.0609 3375	1099	563.6663 0565	1134	566.1899 9085
1065	561.1365 5514	1100	563.7395 1981	1135	566.2609 4631
1066	561.2121 0556	1101	563.8126 6844	1136	566.3318 3928
1067	561.2875 8514	1102	263.8857 4867	1137	566.4026 6987
1068	561.3629 9311	1103	563.9587 6361	1138	566.4734 3820
1069	561.4383 3231	1104	564.0317 1238	1139	566.5441 4437
1070	561.5136 0016	1105	564.1045 9510	1140	566.6147 8848

N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.	N°	LOGARITHMES.
1141	566.6853 7066	1161	568.0841 7153	1181	569.4590 8053
1142	566.7558 9100	1162	568.1534 7757	1182	569.5272 1338
1143	566.8263 4961	1163	568.2227 2400	1183	569.5952 8862
1144	566.8967 4662	1164	568.2919 1091	1184	569.6633 0634
1145	566.9670 8211	1165	568.3610 3841	1185	569.7312 6663
1146	567.0373 5620	1166	568.4301 0659	1186	569.7991 6960
1147	567.1075 6899	1167	568.4991 1557	1187	569.8670 1534
1148	567.1777 2060	1168	568.5680 6543	1188	569.9348 0395
1149	567.2478 1113	1169	568.6369 5629	1189	570.0025 3752
1150	567.3178 4068	1170	568.7057 8825	1190	570.0702 1014
1151	567.3878 0936	1171	568.7745 6139	1191	570.1378 2793
1152	567.4577 1728	1172	568.8432 7583	1192	570.2053 8896
1153	567.5275 6454	1173	568.9119 3168	1193	570.2728 9334
1154	567.5973 5125	1174	568.9805 2901	1194	570.3403 4115
1155	567.6670 7752	1175	569,0490 6794	1195	570.4077 3250
1156	567.7367 4344	1176	569.1175 4856	1196	570.4750 6749
1157	567.8063 4912	1177	569.1859 7097	1197	570.5423 4619
1158	567.8758 9466	1178	569.2543 3517	1198	570.6095 6871
1159	567.9453 8018	1179	569.3226 4157	1199	570.6767 3514
1160	568.0148 0577	1180	569.3908 8996	1200	570.7438 4558

TABLE DES MATIÈRES.

CHAPITRE PREMIER.

FORMATION, PROPAGATION ET CARACTÈRES DU SON, CALCUL DU NOMBRE DE VIBRATIONS, BATTEMENTS ET SONS RÉSULTANTS, TIMBRE.

	Pages
Objet de l'acoustique	1
Définition du son	1
Différence entre le bruit et le son	2
Vibrations	2
Métronome	3
Propagation du son	6
Vitesse du son	7
Tableau des vitesses du son d'après la température	8
Hauteur du son	10
Détermination de la hauteur par les indices	11
Évaluation du nombre de vibrations	12
Comparateur optique de Lissajous	12
Tonomètre de Scheibler	12
Battements	13
Sons résultants	15
Sirène de Cagniard de la Tour	16
Onde sonore	18
Intensité du son	19
Porte-voix	19
Timbre	21
Harmoniques	21
Résonnateurs	24
Division de la série des harmoniques en octaves	26
Réflexion du son	28

Pages.
Échos 29
Réfraction du son. 30
Inflexion du son. 31

CHAPITRE SECOND.

VIBRATIONS DES CORDES.

Vibrations longitudinales et transversales. 33
Sonomètre. 34
Vérification des quatre lois qui régissent les vibrations des cordes. . 34
Division de la corde pour la production des harmoniques. 39
Loi de Young. 43
Influence des tables d'harmonie. 44
Expérience de Wheatstone. 45
Choix des cordes. 46
Justesse des cordes. 47
Calibre Palmer. 51
Expériences de Savart sur les proportions des instruments à cordes . 53
Piano. 58
Harpe. 58
Violon. 59
Alto 60
Violoncelle. 60
Contrebasse 61

CHAPITRE TROISIÈME.

VIBRATIONS DES COLONNES D'AIR.

Regrettable erreur des instrumentistes 63
Raison de la différence du timbre des instruments de musique . . . 65
Onde simple. 66
Onde double 66
Nœuds de vibration. 67
Ventres de vibration. 67
Tuyau ouvert. 68
Tuyau bouché ou bourdon. 68
Division des tuyaux en parties aliquotes, production des harmoniques. 70
Calcul de la longueur des tuyaux 73
Flammes manométriques de Koenig. 78

Pages.
Tuyaux octaviants et quintoyants 80
Tuyaux à anche. 82
Tuyaux d'orgue. 83
Tableau de tous les sons de la gamme tempérée, établi sur le la^3 normal de 870 vibrations simples, nombre de vibrations et longueur des ondes et des tuyaux. 86
Tableau de tous les sons de la gamme tempérée établi sur un la_3 quelconque entre 870 et 922 vibrations. 90
Instruments de cuivre. 94
Calcul de leur longueur 95
Rôle de l'embouchure. 95
Forme des embouchures 96
Instruments simples 99
Cor. 99
Sons ouverts. 100
Tons de rechange 100
Sons bouchés. 103
Trompe de chasse 104
Trompette 105
Trompette de cavalerie 107
Clairon 107
Instruments à coulisse 108
Trombone, alto, ténor et basse 110
Positions de la coulisse 110
Instruments à clefs. 113
Cor à clefs 114
Ophicléide 117
Instruments à pistons 118
Fonction des pistons 120
Calcul des longueurs de tubes additionnels 124
Défaut de justesse provenant de l'emploi simultané des pistons. . . 127
Nécessité de régler les tubes additionnels proportionnellement à la longueur des tons de rechange 131
Facilité de régler ces longueurs sur les harmoniques de l'instrument naturel. 132
Instruments à 6 pistons indépendants. 135
Différence entre la trompette et le cornet à piston 137
Cornet. 139
Cor. 140
Production des échos 141
Trompette 142
Trombone. 144
Bugles. 146

Pages
Petit bugle en *mi*^{b} 146
Bugle contralto en *si*^{b} 147
Bugle alto en *mi*^{b} 147
Bugle baryton en *si*^{b} 147
Tuba en *si*^{b} 148
Bombardon en *fa* 151
Id. en *mi*$_b$. 151
Id. *ut* grave 151
Id. *si*^{b} grave 151
Instruments en bois 153
Clarinette 154
Division de la colonne d'air 160
Hautbois 167
Hautbois d'amour 170
Cor anglais 170
Basson. 170
Contre-basson 172
Sarrusophone 174
Saxophone 175
Voix humaine 178
Étendue des voix 179
Organe auditif 180
Tuyaux à bouche 182
Tuyaux d'orgue. 183
Loi de M. Cavaillé Coll pour le calcul de la longueur 184
Flageolet. 186
Tuyaux de flûte. 187
Flûte de Pan. 188
Flûte traversière 189

CHAPITRE QUATRIÈME.

VIBRATIONS DES VERGES, DES LAMES, DES PLAQUES ET DES MEMBRANES

Vibration des verges et des lames. 197
Triangle 198
Carillon 199
Diapason avec boîte de résonnance. 201
Vibration des plaques. 202
Cymbales. 203
Tamtam 203

Pages.
Cloches 204
Harmonica de Franklin 205
Vibrations des membranes 205
Tambour 205
Caisse claire 206
Grosse caisse. 207
Grosse caisse à une peau 208
Timbales 209

CHAPITRE CINQUIÈME.

RAPPORTS NUMÉRIQUES DES INTERVALLES.

Rôle des chiffres. 213
Calcul des rapports numériques au moyen des harmoniques. . . . 215
Formule de la gamme. 216
Calcul des rapports numériques, par les accords parfaits de la gamme. 217
Formule de la gamme en fractions décimales. 219
Formule de la gamme en nombres entiers 221
Ton majeur et ton mineur. 221
Demi-ton majeur et demi-ton mineur. 222
Détermination du comma. 222
Division de la gamme en tétracordes 223
Introduction des dièses 223
Id. des bémols 224
Défauts de la gamme des physiciens 225
Tableau des vibrations des sons de la gamme des physiciens avec les longueurs de corde qui s'y rapportent 228
Gamme tempérée 229
Tableau des vibrations des sons de la gamme tempérée avec les longueurs de corde qui s'y rapportent 230
Partition de l'accordeur 231
Calcul de la gamme pythagoricienne 233
Intervalles de cette gamme 235
Formule de la gamme pythagoricienne 235
Tableau des vibrations des sons de la gamme pythagoricienne avec les longueurs de corde qui s'y rapportent 237
Comma pythagoricien 238
Calcul de la gamme basée sur la progression triple 238
Tableau des longueurs de cordes permettant, à l'aide du sonomètre, de

Pages.

se rendre compte des sons de la gamme des géomètres, de la gamme tempérée et de la gamme de Pythagore 240
Formation des gammes par la succession des quintes. 240
Tableau comparatif des vibrations des sons de la gamme des géomètres, de la gamme tempérée et de la gamme de Pythagore . . . 242
Examen de la justesse des harmoniques 245
Logarithmes acoustiques 250
Table des logarithmes acoustiques 252